

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université M'hamed Bougara Boumerdes
Faculté des Sciences
Département de Mathématiques



Mémoire Présenté
Pour L'Obtention Du Diplôme De Master
En Recherche Opérationnelle
Option : Recherche Opérationnelle Modélisation et Aide à la Décision
(ROMAD)

Par : M^{elle} ISSEMLELT Hassiba & M^{elle} KELLAL Katia

**Les méthodes PERT et MPM pour
l'ordonnancement des taches d'un projet**

Soutenu à l'UMBB, le 25/06/2016, devant le jury composé de :

M ^{me} FIROUD	M.A.A	Présidente	à l'UMBB -Boumerdes.
M ^r MERHOUM	M.A. A	Encadreur	à l'UMBB - Boumerdes
M ^{me} BENMANSOUR	M.A.A	Examinatrice	à l'UMBB - Boumerdes.

Année Universitaire 2015 – 2016

Remerciements

En premier lieu, nous remercions le Dieu tout puissant qui nous a éclairé sur le chemin du savoir et donné la force pour arriver à cet instant.

Nous exprimons nos remerciements les plus sincères au département de planification pour nous avoir permis d'effectuer notre stage de fin d'études, et qui nous a permis d'acquérir une expérience dans notre domaine d'application.

Nous tenons à remercier Monsieur KH.MERHOUM, notre promoteur, qui a su nous encourager et nous guider tout au long de notre parcours, pour le temps qu'il a bien voulu nous accorder, ainsi que toute l'équipe pédagogique de l'université pour avoir assuré la partie théorique de notre formation et plus particulièrement notre encadreur Monsieur R.KASDI.

Par la même accession, nous exprimons notre extrême gratitude à l'ensemble des enseignants de Département Mathématique, en particulier les enseignants de La recherche opérationnelle et aux membres du jury qui ont bien voulu présider et examiner notre travail. Enfin, que toute personne qui, d'une façon ou d'une autre, a contribué à la réalisation de cette étude.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à "**Mes chers parents**"

"Vous m'avez donnée la vie, la tendresse et le courage pour réussir, tout ce que je peux vous offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je vous porte, je vous remercie pour tous les sacrifices et pour l'affection dont vous m'avais toujours entouré, que dieu vous préserve et vous procure santé et longue vie "

A mon adorable soeur **Inel** et son mari **Lamine** qui est un frère pour moi, je vous aime énormément merci pour tous ce que vous faite pour moi.

A ma petite sœur d'amour **Laetitia**, que j'aime tant.

A mes adorables nièces **Anais** et **Maycen** et mon neveu **Yacine** qui combent ma vie de joie et de bonheur.

A ma grand-mère que j'aime que dieu te garde pour nous.

A toute mes tantes et mes oncles.

A tous mes amis(e) avec lesquels j'ai partagé mes moments de Joie et de bonheur, qui m'ont aidé à accomplir ce travail surtout ma binôme **Hassiba** et sa famille.

Katia

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents que j'aime énormément qui n'ont pas cessé de m'encourager ,de prier pour moi pour achever mon travail.

À mes chère(s) sœurs .

À mes Chers frères .

À mes oncles et mes tantes .

À ma grand-mère que j'aime .

Je le dédie à toutes mes cousines et mes cousins .

À tous mes amis(e) avec les quels j'ai partagé mes moments de Joie et de bonheur, sur tout les intimes

À tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail .

À tout les étudiants de **recherche opérationnelle**.

Et à mon adorable amis et ma binôme **katia** et sa famille.

hassiba

Table des matières

<i>Introduction générale</i>	2
1 Présentation de l'entreprise	4
Introduction	4
1 Organigramme de GCB	5
2 Nombre et répartition des effectifs humains	6
3 Structuration des moyens matériels a GCB	6
3.1 Répartition du materiel	6
3.2 Répartition des infrastructures	7
4 Les Activités	9
5 Les clients de la société GCB	12
6 GCB en chiffres	14
7 La politique Health-Quality-Safety-Environment	15
8 Stratégie de développement	15
2 Généralité et problématique	17
Introduction	17
1 Définitions et concepts de base	17
1.1 Qu'est-ce qu'un graphe?	17
1.2 Successeur , prédécesseur	17
1.3 Matrice d'adjacence	18
1.4 Etude de la connexité	19
2 Problèmes de cheminement	20
2.1 Définitions	20
3 Les algorithmes du plus court chemin	21
3.1 Algorithme de mise à niveau	21
3.2 Algorithme de Bellman	24
4 Présentation du projet	26
4.1 Découpage du projet	26
5 Problématique	33
3 L'ordonnancement de projet	35
Introduction	35
1 La gestion de projet	35

1.1	Définition	36
2	Le Projet	36
2.1	Caractéristiques d'un projet	37
2.2	Cycle de vie d'un projet	37
3	Le découpage d'un projet	38
3.1	Work Breakdown Structure (WBS) ou Organigramme des Tâches (OT)	38
4	L'Ordonnement	38
4.1	Définition	38
5	Concepts de base	39
5.1	Les tâches	39
5.2	Etape	40
5.3	Jalon	40
5.4	Les ressources	40
5.5	Les contraintes	41
6	La planification	42
6.1	Les étapes de la planification	42
7	Les techniques d'ordonnement	43
7.1	Méthode GANTT (Bar chart ou planning a barres)	43
7.2	Diagramme de GANTT fléché (activités avec présentation des liaisons)	45
7.3	La méthode des potentiels (MPM)	46
7.4	Méthode PERT	47
8	Notion des dates et marges	49
9	Calcul des dates et des marges	50
9.1	Calcul des marges	52
4	Modélisation du projet	55
	Introduction	55
1	Modélisation	56
1.1	Les Variables de décision	56
1.2	Les Contraintes	56
1.3	Fonction objectif	56
2	Le modèle mathématique	57
2.1	Etude de cas	57
3	Le modèle mathématique	62
4	Résolution par le logiciel LINGO	63
5	Modélisation graphique	67
5.1	Modélisation par un graphe potentiel-tâches (M.P.M)	67
5.2	Modélisation par un graphe PERT : graphe potentiel-étapes :	68
6	Logiciel Primavera P6	72
7	Présentation de logiciel	72
8	Pourquoi utiliser primavera project management ?	73
9	Elaboration d'un projet sous Primavera	73

9.1	Comment démarrer Primavera ?	74
9.2	Création d'un nouveau projet	75
9.3	Description de l'écran d'entrées	75
9.4	Création d'activités	76
9.5	Création des relations entre les activités	77
9.6	Le chemin critiques	78
10	Présentation de l'application	79
10.1	Diagramme de GANTT	80
11	Diagramme de GANTT fléché (Relationship)	81
12	Diagramme de PERT	82
13	Chemin critique	83
14	Work Breakdown Structure	83
14.1	Affichage de WBS	84
14.2	Affichage de GANTT sous le découpage en tâche	85
15	Affecter des ressources à des tâches	85
16	Affichage des coûts obtenus par primavera	88
16.1	Récapitulation des résultats finaux	90
17	Comparaison entre les méthodes	91
18	Les méthodes approchés	92
18.1	Algorithme génétique	92
5	Résolution du problème et implémentation	94
	Introduction	94
1	Choix du langage	94
1.1	Généralités sur le langage	94
2	Présentation de l'interface	95
3	Implementation de la méthode PERT en C++	101
	Conclusion générale	105

Table des figures

1.1	La société nationale de génie civil et bâtiments	4
1.2	Organigramme général de la société	5
1.3	Effectifs par catégorie socioprofessionnelle	6
1.4	ENVERGURE GEOGRAPHIQUE DE GCB	8
1.5	base de vie	8
1.6	Terrassements	9
1.7	Activités routes	10
1.8	Activités hydrauliques	10
1.9	Activités Ferroviaires	11
1.10	Fabrication et Construction métallique	11
1.11	piste d'atterrissage	12
1.12	Evolution des réalisations d'investissements (en KDA)	14
1.13	Principaux Indicateurs	14
1.14	Représentation de référentiel iso-9001 version 2000 de la GCB	15
2.1	Un graphe	18
2.2	G avant la mise à niveau	22
2.3	G après la mise à niveau	23
2.4	G muni de poids avant la mise à niveau	24
2.5	G muni de poids après la mise à niveau	25
2.6	application de l'algorithme de bellman	25
2.7	arborescence de plus court chemin	25
2.8	Déblais en terrain	27
2.9	Opération de terrassement	27
2.10	Arrosage des pistes par des camions citernes	27
2.11	Couche de base	28
2.12	Déblais mis en remblais	29
2.13	Revetement en enrobe	29
2.14	Excavation fouille	30
2.15	Coffrage pour longrines	31
2.16	Clôture en fil barbelé	31
2.17	Remblaiment des fouilles	31
2.18	L'emplacement du projet	32

3.1	Les objectifs du projet	37
3.2	Cycle de vie d'un projet	38
3.3	domaines d'ordonnement	39
3.4	Une tâche	40
3.5	Typologie des problèmes d'ordonnement par les ressources	41
3.6	Les étapes de planification	43
3.7	Un exemple du diagramme de Gantt	45
3.8	Représentation de type potentiel tâche	46
3.9	Un exemple du graphe MPM	47
3.10	Un exemple du graphe PERT	49
3.11	Solution avec la méthode MPM	53
3.12	Solution avec la méthode PERT	53
4.1	Interface LINGO 13.0	65
4.2	Représentation graphique de potentiel-tâches	67
4.3	Représentation graphique de potentiel-tâches	68
4.4	Représentation graphique de potentiel-étape	69
4.5	Interface de primavera project management	74
4.6	Boite de dialogue du logiciel	75
4.7	Ecran d'entrée de primavera project planner (GANTT CHART).	76
4.8	Insertion d'activité	77
4.9	Relation entre les activités	78
4.10	Relation entre les activités	78
4.11	Le chemin critique	79
4.12	Le diagramme de GANTT	80
4.13	Le diagramme de GANTT fléché (Relationship)	81
4.14	Le diagramme de PERT	82
4.15	Le chemin critique	83
4.16	Work Breakdown Structure	83
4.17	Découpage du projet	84
4.18	GANTT sous le découpage des tâches	85
4.19	Affectation des ressources	89
4.20	Affichage des coûts	90

Liste des tableaux

1.1	Les projets de routes réalisés	10
1.2	liste des clients de la gcb	13
4.1	liste des taches	59
4.2	les dates et marges	71
4.3	affectation des ressources	88
4.4	Tableau récapitulatif	91

Introduction générale

La recherche opérationnelle peut être définie comme l'ensemble des méthodes et techniques d'analyse des problèmes de nature combinatoire liés à des phénomènes observés pour élaborer de meilleurs politiques de décisions menant à leur résolution, elle comprend plusieurs branches comme la programmation dynamique, la théorie des graphes, la programmation non linéaire, l'optimisation combinatoire, etc.

Dans le cadre de la préparation de notre mémoire de fin d'étude nous avons choisi d'exposer quelques problèmes de la vie professionnelle, dont la résolution fait appel aux techniques de la recherche opérationnelle.

Un projet est un ensemble d'activités se succédant et ayant pour but la réalisation d'un objectif unique, bien déterminé. Avant sa concrétisation, un projet passe par plusieurs phases appelées "Cycle de vie" du projet : Conception, Planification et Contrôle.

Le concept de gestion de projets englobe des techniques et méthodes organisationnelles, des outils de planification et de suivi de projet (contrôle). Le principal objectif est d'optimiser des paramètres propres au projet c'est-à-dire : Durées, coûts et qualités. La planification, représente une étape très importante lors de l'élaboration d'un projet, c'est durant cette étape que sont estimées les durées des activités ainsi que le nombre de ressources nécessaires pour leur déroulement.

L'ordonnancement intervient dans le séquençage des activités du projet, il fixe l'ordre dans lequel elles doivent être réalisées et calcule les besoins en ressources à chaque étape de l'ordonnancement. C'est dans cette étape également qu'intervient le calcul des dates au plus tôt et au plus tard des tâches.

La phase de contrôle a aussi son importance dans le suivi du projet, elle permet de situer, de savoir où en est à la réalisation par rapport à ce qui a été préalablement planifié et faire le point sur l'état d'avancement du projet.

Dans ce mémoire il sera surtout question du problème de l'ordonnancement, étant l'une des causes majeures de l'échec de certains projets.

Notre travail est ainsi organisé :

- Dans le premier chapitre on présentera l'organisme d'accueil .
- Dans le second chapitre, on présentera notre projet ainsi que des définitions et notations générales des termes utilisés dans l'entreprise. Pour ensuite poser et identifier notre problème.
- Le troisième chapitre est consacré à l'ordonnancement de projet, outils et méthodes .
- Le quatrième chapitre porte sur la modélisation et des méthodes de résolution basée sur la programmation linéaire et la théorie des graphes avec une application par le logiciel primavera
- Enfin, le cinquième chapitre est consacré pour l'application du logiciel matlab, suivi d'un algorithme en C++ .

Chapitre 1

Présentation de l'entreprise

Présentation de GCB

La société nationale de génie civil et bâtiments, dénommée par abréviation GCB, est une société issue de la restructuration de sonatrach .



FIGURE 1.1 : La société nationale de génie civil et bâtiments

Créée le 01 août 1981, par décret n°81-173, elle a été érigée en société par action (SPA) avec un capital social de 7.63 milliards de dinars entièrement détenus par SONATRACH.

GCB capitalise une expérience de plus de 30 années dans les différents domaines de la construction, une existence couronnée de succès qui lui a valu une maîtrise sereine de ses activités et une performance dans les activités qu'elle entreprend.

A partir des années 1990, elle s'est redéployé au sud dans un soucis d'expansion et de développement pour mieux répondre aux perspectives de développement de SONATRACH .

La mondialisation ,la privatisation nationale, ont métamorphosé les exigences du marché ,pour inciter la GCB à s'adapter dès 2001 aux référents mondiaux pour adopter la certification "ISO 9000 version 2000" et introduire un ré-aménagements organisationnelle interne avec la création d'une direction centrale de managent qualité associé à des structures de qualité au niveau décentralisé et opérationnel .

1. Organigramme de GCB

Voici un schéma qui regroupe les différents départements de l'entreprise.

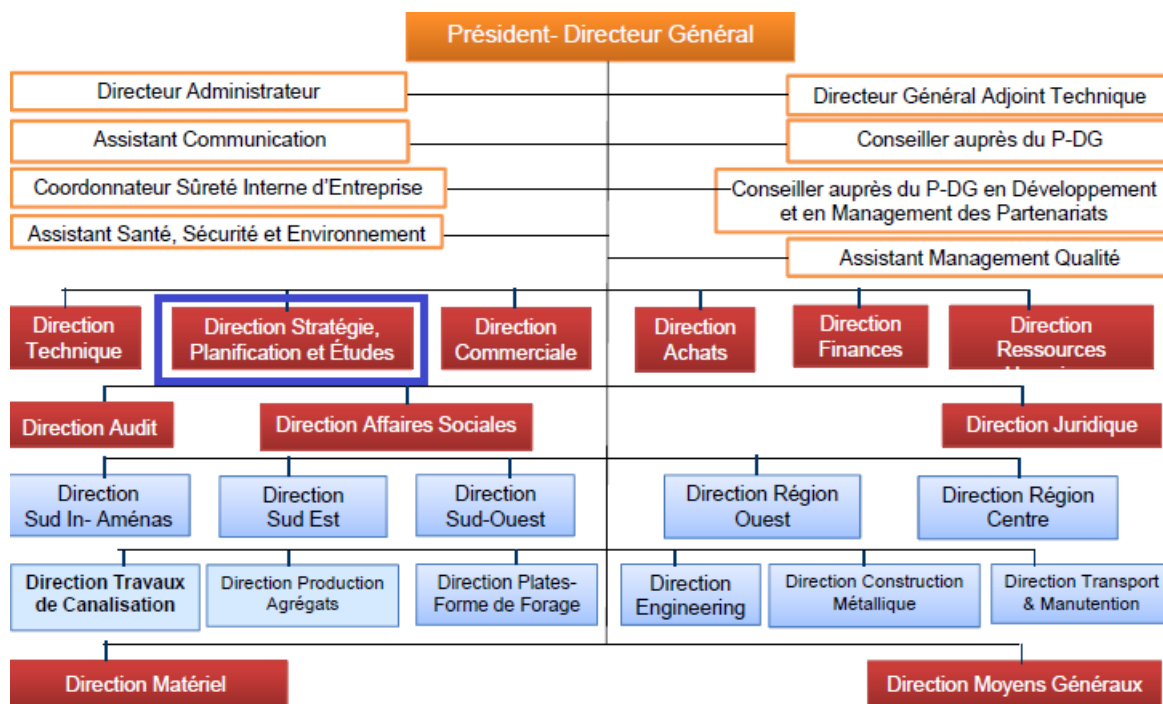


FIGURE 1.2 : Organigramme général de la société

2. Nombre et répartition des effectifs humains

L'un des grands atouts sur lesquels GCB compte, réside en ses hommes, qui avec le temps, ont acquis un savoir-faire et une capacité d'adaptation qui les prédisposent à répondre à tous les enjeux de la construction.

Effectif total GCB : 9932

Cadre : 1092 soit 11

Maitrise : 2721 soit 27

Exécution : 6119 soit 62

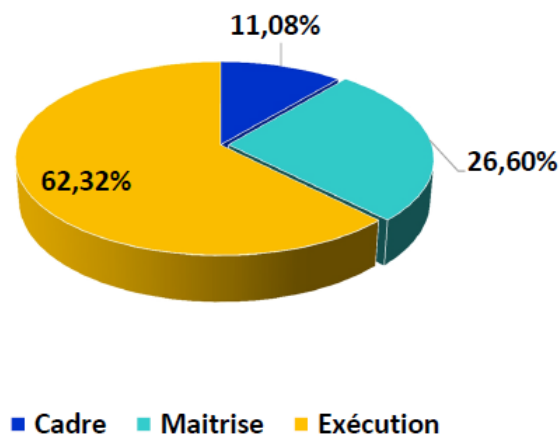


FIGURE 1.3 : Effectifs par catégorie socioprofessionnelle

3. Structuration des moyens matériels a GCB

3.1. Répartition du materiel

GCB dispose d'un parc conséquent de plus de 2800 engins lourds et matériels stratégiques en constante modernisation qui donne à l'entreprise une grande autonomie d'action.



98 Pelles excavatrices

42 Compacteurs pneumatiques





62 Rouleaux monocylindres

34 Portes engins



396 Camions bennes

105 Camions citernes



10 Centrales à béton

09 Stations d'enrobé



3.2. Répartition des infrastructures

GCB dispose d'infrastructures fixes, à vocation industrielle, administratives et socioprofessionnelles aux quatre coins de l'Algérie, elles sont notamment implantées à :

- ALGER (Zones industrielles d'El-Harrach, et de Oued-Smar)
- BOUMERDES (Boumerdes et Boudouaou)
- ARZEW (Zone industrielle d'Arzew)
- HASSI-MESSAOUD (Zones industrielles Nord de Hassi-Messaoud et Irara)
- HASSI-R'MEL

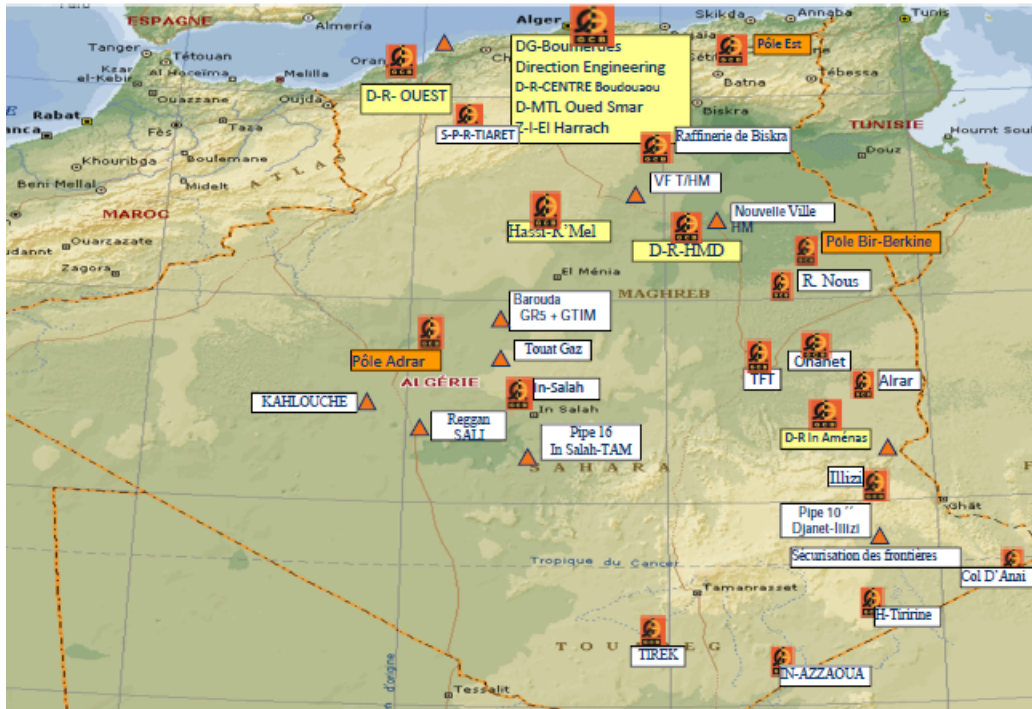


FIGURE 1.4 : ENVERGURE GEOGRAPHIQUE DE GCB

Elle dispose d'infrastructures et de bases de vie sur ses différents chantiers avec une capacité d'accueil pour la prise en charge de plus de 6 500 agents sur les différents sites des projets(studios , cabines d'hébergements ,chalets ,cantines...)



FIGURE 1.5 : base de vie

L'entreprise a développé et doté son parc de moyens de transports importants qui lui permettent d'ouvrir des chantiers et de s'installer dans les meilleurs temps et en n'importe quel lieu d'Algérie (34 portes engins, 150 tracteurs routiers , 18 semi-remorques plateau ,21 grues automotrices) , et afin de garantir l'autonomie en énergie de ses installations, GCB dispose de groupes électrogènes (141 groupes électrogènes) et des dizaines de ravitailleurs de carburants et d'eau

4. Les Activités

GCB opère dans les différents corps de métier de Génie Civil :

<<Terrassements>>

Avec ses moyens de production conséquents, avec ses hommes expérimentés et rodés à l'art de ce métier, GCB intervient sur des projets dans les coins les plus reculés d'Algérie, dans les conditions climatiques les plus rudes et y réalise des mouvements de terre colossaux.



FIGURE 1.6 : Terrassements

GCB intervient sur :

- Les terrassements en grande masse.
- Les travaux de rechargement en matériaux choisis de grandes surfaces
- La construction de bassins d'évaporation

<<Routes>>

GCB a réalisé des centaines de kilomètres de routes à travers les différentes régions d'Algérie ce qui lui a permis la maîtrise de cette activité et lui a ouvert la porte à de nouveaux horizons en la matière en participant dans le cadre d'un groupement à l'édification du grand projet national de l'autoroute Est-Ouest.

Exemples de projets de routes réalisés ou en cours :

<<Hydraulique>>



FIGURE 1.7 : Activités routes

Désignation	Client	Envergure des travaux
Route Nezla-Berkine	SONATRACH	176 KM
Route National 53A	SONATRACH	150 KM
Route TFT	BRI	186 KM
Route bloc 208	SH/ACC	90 KM
Route Alrar-Ouest	SONATRACH	45 KM
Réseau routier champ Hassi-R'mel	SONATRACH	200 KM
Route Meltili-Brizina	DTP Ghérdaia / El Bayadh	90 KM

TABLE 1.1 : Les projets de routes réalisés

GCB a investit le créneau de l'hydraulique, elle a réalisé des projets de transferts d'eau à partir de barrages, qui comprennent les travaux de terrassements généraux, d'excavation et de remblais de tranchée sur la ligne ainsi que le génie civil des infrastructures d'accompagnement telles que les stations d'épuration, les stations de pompages, les stations électriques et les réservoirs de stockage d'eau.

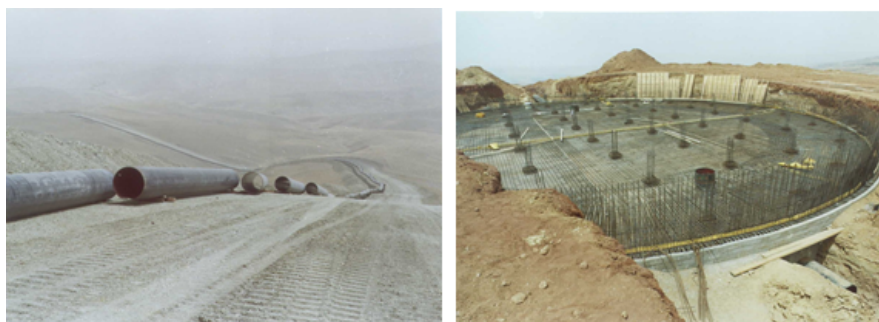


FIGURE 1.8 : Activités hydrauliques

<<Ferroviaires>>

GCB a diversifié ses activités et s'engage dans la construction d'ouvrage de génie civil ferroviaire. Les travaux comprennent l'ouverture de l'emprise, la construction du corps d'assise de la voie et les ouvrages en béton armé des dalots.



FIGURE 1.9 : Activités Ferroviaires

<<Fabrication et Construction métallique>>

GCB à travers son Unité de Charpente Métallique intervient dans :

- La fabrication et montage d'infrastructures diverses en charpente métalliques tel que les Bâtiments, les hangars, les ateliers et les cabines sahariennes
- La fabrication chaudronnerie
- Le montage des toitures et bardage en panneaux sandwich, tôle nervurée ou translucide y compris les accessoires
- Réalisation de réseau anti-incendie et de tuyauterie



FIGURE 1.10 : Fabrication et Construction métallique

<<Génie Civil Aéroportuaire>>

GCB a diversifié ses activités et s'engage dans la construction d'ouvrage de génie civil aéroportuaire. Les travaux comprennent la réalisation et le renforcement des pistes d'atterrissage et des ouvrages annexes.



FIGURE 1.11 : piste d'atterrissage

5. Les clients de la société GCB

GCB s'efforce de construire des relations étroites et permanentes avec ses clients, et se fixe pour objectif de satisfaire leurs besoins implicites et explicites. Cette démarche lui a valu de compter dans son portefeuille d'activité des clients fidèles, principalement :

Client	Pays d'origine
SONATRACH	Algérie
JGC	Japon
B.R.C Brown and Root et Condor	Algérie / USA
B.R.I Brown and Root International	USA
ANADARKO	USA
A.B.B	Pays Bas
B.H.P	Australie
SNC-LAVALIN	Canada
AGIP	Italie
BENTINI	Italie
PETRO CANADA	Canada
REPSOL	Espagne
ENTP	Algérie
ENAFOR	Algérie
MITSUBISHI	Japon
ABENER	Espagne
SCHLUMBERGER	Grande Bretagne
BRITICH RETROLEUM	Grande Bretagne
NAFTAL	Algérie
SNTF	Algérie
PETROFAC	Italie
BONATTI	USA
SAIPEM	Italie
ANESRIF	Algérie
ONA	Algérie

TABLE 1.2 : liste des clients de la gcb

6. GCB en chiffres

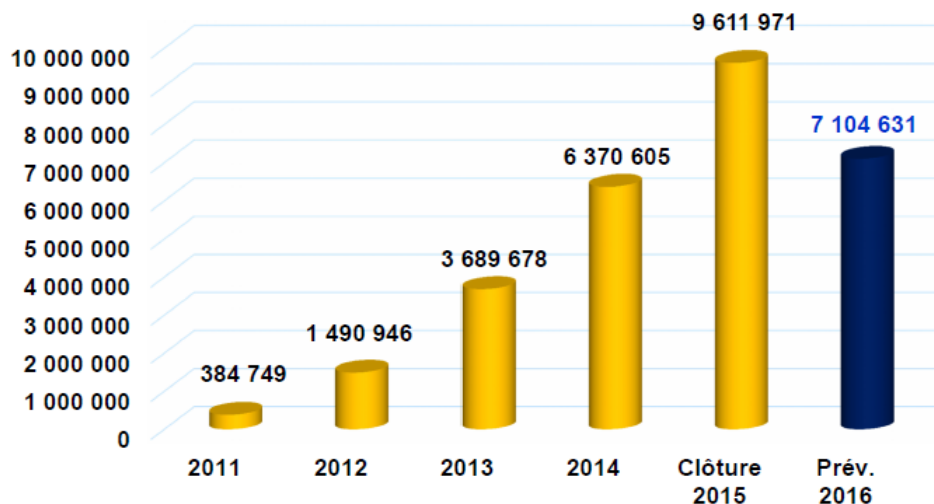


FIGURE 1.12 : Evolution des réalisations d'investissements (en KDA)

DESIGNATIONS	2011	2012	2013	2014	Clôture 2015
					En KDA
Production de l'exercice	13 437 556	14 548 025	17 841 705	25 323 071	30 097 480
Valeur ajoutée	7 314 682	8 005 339	9 059 141	12 123 027	15 755 768
Excédent brut d'exploitation	1 737 931	2 320 298	2 567 403	3 944 840	5 832 184
Résultat net	-784 101	959 493	1 022 157	907 234	2 161 367
Capacité d'autofinancement	755 192	2 451 536	2 701 689	3 575 907	5 086 002
Production /Effectif (productivité)	1 753	2 063	2 459	2 788	2 741
Valeur ajoutée /Effectif (la richesse)	954	1 135	1 249	1 335	1 435

FIGURE 1.13 : Principaux Indicateurs

7. La politique Health-Quality-Safety-Environment

La politique Q-HSE vise cinq objectifs fondamentaux :

- La satisfaction clients.
- La fidélisation de nos compétences par des motivations appropriées et des formations qualifiantes.
- La mise à disposition de nos équipes des moyens adéquats et fiables.
- La réalisation de nos prestations conformément aux exigences de nos clients et aux exigences normatives, légales et réglementaires applicables.
- Faire de notre devise « aucun accident, aucun préjudice aux personnes et aucun dommage à l'environnement » une réalité partagée par tous en garantissant un environnement de travail adéquat, en protégeant nos travailleurs et en leur assurant les meilleures conditions de santé et de sécurité.



FIGURE 1.14 : Représentation de référentiel iso-9001 version 2000 de la GCB

8. Stratégie de développement

GCB opère dans un environnement qui est en pleine évolution caractérisé par :

- Un marché à la recherche d'Entreprise de réalisation clés en main
- Un marché offrant des opportunités intéressantes au niveau du secteur hydrocarbures, du secteur des BTPH et des Transports.

Les ambitions de GCB pour les cinq ans à venir répondent au nouvel environnement par :

- Le développement de ses capacités d'engineering et de procurement pour élargir

son champ d'activité et se muer en une Entreprise EPC

- La focalisation sur le génie civil comme métier de base et le développement de son expertise dans ce domaine par la consolidation de ses compétences actuelles
- La diversification de ses activités par l'intégration de nouveaux créneaux, pipeline, construction métallique et chaudronnerie
- Acquisition de nouveaux gisements d'agrégats
- La diversification du portefeuille clients dans de nouveaux marchés et secteurs dans ses métiers de base
- Tisser un partenariat de qualité lui permettant une meilleure adaptation à son environnement en vue d'introduire d'autres créneaux.

Pour son développement à moyen terme, GCB doit mettre en place des Moyens et outils pour l'acquisition d'un savoir faire dans les domaines d'activité de la société et en particulier les nouveaux créneaux tel que le pipe line, la voie ferrée, la construction métallique, les ouvrages d'art et la préfabrication de la construction.

Conclusion

Pour conclure , on peut dire que la GCB est une entreprise qui a son poids dans le marché des entreprises nationales, et vue la concurrence des entreprises dans le monde de l'industrie qui est de plus en plus rigide, la GCB doit tracer des axes stratégiques plus rigoureux afin de s'assurer une place dans ce monde, et cela peut s'effectuer grace à une bonne gestion des ressources notamment la gestion des ressources matérielles .

Chapitre 2

Généralité et problématique

Introduction

En première partie et avant d'entamer notre étude , il est nécessaire de commencer a exposé les différents notions de base sur la théorie des graphes et les problèmes de cheminement .

En second partie nous donnerons quelque définitions sur notre projet et faire connaitre les différentes phases de réalisation d'un parc a tube , puis nous allons exposer notre problématique .

1. Définitions et concepts de base

1.1. Qu'est-ce qu'un graphe ?

On appelle graphe $G = (X,A)$ la donnée d'un ensemble X dont les éléments sont appelés sommets et d'une partie de A symétrique ($(x,y) \in A \Leftrightarrow (y,x) \in A$) dont les éléments sont appelés arêtes.

En présence d'une arête $a = (x,y)$ qui peut être notée simplement xy , on dit que x et y sont les extrémités de a , que a est incidente en x et en y , et que y est un successeur ou voisin de x (et vice versa).

On dit qu'un graphe est sans boucle si A ne contient pas d'arête de la forme (x,x) , c'est-à-dire joignant un sommet à lui-même.

Le nombre de sommets est appelé ordre du graphe.

1.2. Successeur , prédécésseur

On dit que y est un Successeur de x s'il existe $u \in A$ tel que $I(u)=x$ et $T(u)=y$ on note par $\Gamma^+(x)=\{y \in X / \exists u \in A : I(u)=x \text{ et } T(u)=y\}$ l'ensemble de tous les successeurs du sommet x [8]

On dit que y est un prédécesseur s'il existe $u \in A$ tel que $T(u)=x$ et $I(u)=y$ on note par $\Gamma^-(x)=\{y \in X / \exists u \in A : T(u)=x \text{ et } I(u)=y\}$ l'ensemble de tous les prédécesseurs du sommet x page Celui-ci peut être représenté par les deux tables suivantes :

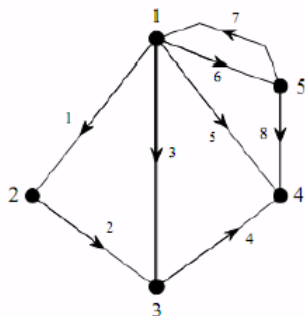


FIGURE 2.1 : Un graphe

x	$\Gamma^+(x)$	x	$\Gamma^-(x)$
1	2,3,4,5	1	5
2	3	2	1
3	4	3	1,2
4	-	4	1,3,5
5	1,4	5	1

1.3. Matrice d'adjacence

Les outils classiques d'algèbre linéaire peuvent également être utilisés pour coder les graphes.

La première idée consiste à considérer chaque arc comme un lien entre deux sommets.

Définition

Considérons un graphe $G = (X,A)$ comportant n sommets. La matrice d'adjacence de G est égale à la matrice $U = (u_{ij})$ de dimension $n \times n$ telle que

$$(u_{ij}) = \begin{cases} 1 & \text{si } (i,j) \in A \text{ ((i,j) est un arête)} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Une telle matrice, ne contenant que des "0" et des "1" est appelée, de manière générale, une matrice booléenne.

Un graphe orienté quelconque a une matrice d'adjacence quelconque, alors qu'un graphe non orienté possède une matrice d'adjacence symétrique. L'absence de boucle se traduit par une diagonale nulle.

1.4. Etude de la connexité

chaîne

Une chaîne est une séquence finie et alternée de sommets et d'arêtes, débutant et finissant par des sommets, telle que chaque arête est incidente avec les sommets qui l'encadrent dans la séquence. Une arête ne doit pas intervenir plusieurs fois dans la séquence contrairement à un sommet[8].

Le premier et le dernier sommet sont appelés (sommets) extrémités de la chaîne. La longueur de la chaîne est égale au nombre d'arêtes qui la composent.

Si aucun des sommets composant la séquence n'apparaît plus d'une fois, la chaîne est dite chaîne élémentaire.

Si aucune des arêtes composant la séquence n'apparaît plus d'une fois, la chaîne est dite chaîne simple.

Cycle

Un cycle est une chaîne dont les extrémités coïncident.

Un cycle élémentaire (tel que l'on ne rencontre pas deux fois le même sommet en le parcourant) est un cycle minimal pour l'inclusion, c'est-à-dire ne contenant strictement aucun autre cycle.

chemin

Un chemin est une séquence finie et alternée de sommets et d'arcs, débutant et finissant par des sommets, telle que chaque arc est sortant d'un sommet et incident au sommet suivant dans la séquence [8] (cela correspond à la notion de chaîne "orientée").

Si aucun des sommets composant la séquence n'apparaît plus d'une fois, le chemin est dit chemin élémentaire.

Si aucune des arêtes composant la séquence n'apparaît plus d'une fois, le chemin est dit chemin simple.

Circuit

Un circuit est un chemin dont les extrémités coïncident.

En parcourant un circuit élémentaire, on ne rencontre pas deux fois le même sommet.

Réseau

Un graphe fortement connexe, sans boucle et ayant plus d'un sommet, est appelé un réseau.

On appelle noeud d'un réseau un sommet qui a plus de deux arcs incidents. Les autres sommets sont appelés antinoeuds.

On appelle branche tout chemin pour lequel seuls les premiers et derniers sommets sont des noeuds.

2. Problèmes de cheminement

La recherche de chemin, couramment appelée pathfinding, est un problème classique de la théorie des graphes, qui se rattache plus généralement au domaine de la planification et de la recherche de solution. Il consiste à trouver comment se déplacer dans un environnement entre un point de départ et un point d'arrivée en prenant en compte différentes contraintes.

Le problème du plus court chemin peut se ramener à un problème de recherche du meilleur chemin entre deux noeuds dans un graphe. Il existe un ensemble d'algorithmes classiques pour résoudre ce type de problème. Toutefois, ce problème devient un problème complexe lorsque l'on cherche à prendre en compte diverses contraintes additionnelles (exécution en temps réel, présence d'incertitudes, contrainte de ressources, environnement évolutif, etc)[6].

2.1. Définitions

Soit $G = (X;A)$ un 1-graphe orienté valué tel que la fonction cout :

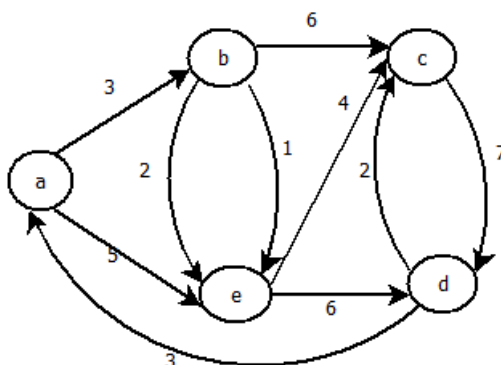
$A \rightarrow \mathbb{R}$ associé à chaque arc (x_i, x_j) de A un cout réel (x_i, x_j) .

Le cout d'un chemin $p = \langle x_0, x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ est égale à la somme des coûts des arcs composant le chemin, c'est à dire :

$$\text{cout}(p) = \sum_{i=1}^n \text{cout}(x_{i-1}, x_i)$$

Le coût d'un chemin sera aussi appelée poids du chemin. Le coût (ou poids) d'un plus court chemin entre deux sommets x_i et x_j est noté $\delta(x_i, x_j)$

Considérons par exemple le graphe valué orienté suivant :



$$\delta(a, b) = 3 ; \delta(a, e) = 5 ; \delta(a, c) = 9 ; \delta(a, d) = 11$$

Conditions d'existence d'un plus court chemin

s'il existe un chemin entre deux sommets u et v contenant un circuit de coût négatif, alors $\delta(u, v) = -\infty$ et il n'existe pas de plus court chemin entre u et v . Un circuit négatif est appelée un circuit absorbant[6].

3. Les algorithmes du plus court chemin

On va étudier un algorithme qui permet de résoudre des problèmes de recherche de plus courts chemins à origine unique :

- l'algorithme de Bellman-Ford résoud ce problème lorsque les coûts sont positifs, nuls ou négatifs, sous réserve qu'il n'y ait pas de circuit absorbant (de coûts négatif).

3.1. Algorithme de mise à niveau

S'applique à un graphe sans circuit, il permet de partitionner les sommets de graphe en des class[?] :

Proposition

soit $G=(X,U)$ un graphe sans circuit , cela est équivalent à dire que X (l'ensemble des sommets) admet une partition $X=N_0 \cup N_1 \cup \dots \cup N_p$ telle que :

$$N_0 = \{x \in X \text{ tq } : \Gamma^-(x) = \emptyset \}$$

$$N_1 = \{x \in X/N_0 \text{ tq } : \Gamma^-(x) \subset N_0 \}$$

$$N_1 = \{x \in X/(N_0 \cup N_1) \text{ tq } : \Gamma^-(x) \subset N_1 \}$$

.

.

$$N_p = \{x \in X/N_0 \cup N_1 \cup \dots \cup N_{p-1} \text{ tq } : \Gamma^-(x) \subset N_0 \cup N_1 \cup \dots \cup N_{p-1} \}$$

Avec $\Gamma^-(x)$ sont les prédécesseurs du sommet x .

Soit $G=(X,U)$ un graphe sans boucle.

L'Algorithme est donner par[3] :

Algorithm 1 Algorithmme 1 -Algorithmme de mise à niveau

soit $G=(X,U)$ un graphe sans boucle

$A=\{x \in X \text{ tq } : \Gamma^-(x) = \emptyset \}$

if $A=\emptyset$ **then**

terminer ;G admet un circuit

else

if $A \neq \emptyset$ **then**

aller a 3 ;

end if

end if

poser $N=A$, $X=X-A$;

if $X=\emptyset$ **then**

aller a 4 ;

else

if $X \neq \emptyset$ **then**

aller a 1 ;

end if

end if

G admet une mise à niveau

Exemple :

Soit le graphe suivant $G=(6,9)$

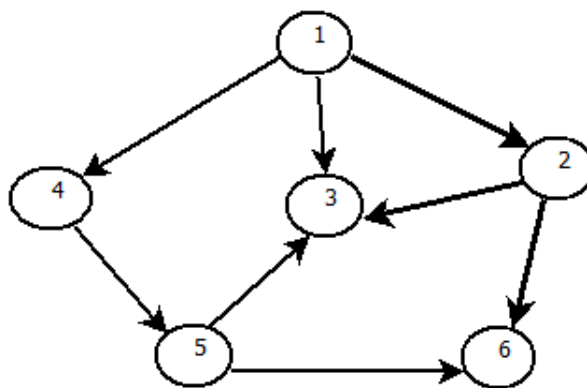


FIGURE 2.2 : G avant la mise à niveau

Remarquons que G n'admet pas de circuit et n'admet pas de boucle , alors on peut appliquer l'algorithme de mise à niveau

x	prédécesseur
1	-
2	1
3	1,2,4,5
4	1
5	4
6	2,5

Le sommet 1 n'admet pas de prédécesseurs alors $A=\{1\}$

$N_0=\{1\}$

$N_1=\{2,4\}$

$N_2=\{5\}$

$N_3=\{3,6\}$

il existe 4 niveaux , donc le graphe devient :

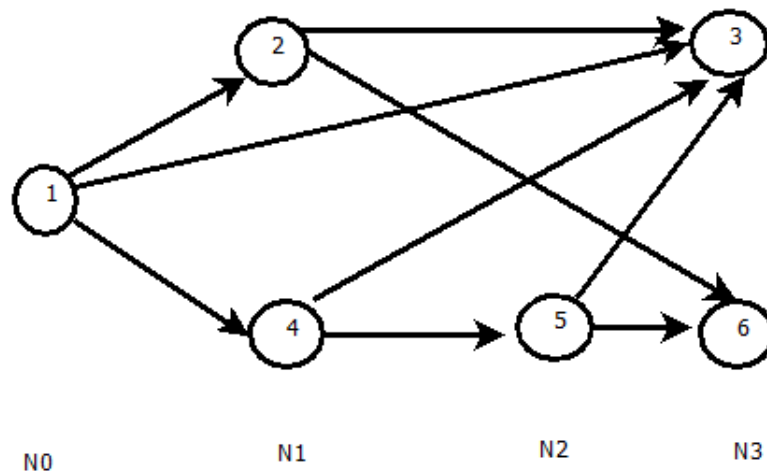


FIGURE 2.3 : G après la mise à niveau

Remarque :

On applique l'algorithme de mise à niveau pour faciliter le travail avec l'algorithme de BELLMAN

3.2. Algorithme de Bellman

L'algorithme de Bellman-ford est un algorithme de programmation dynamique qui permet de trouver des plus courts chemins (resp. plus long chemin), depuis un sommet source donnée, dans un graphe orienté qui ne contient pas de circuit.

Comme le graphe ne contient pas de circuit alors on peut appliquer l'algorithme de mise à niveau, puis l'algorithme de Bellman

l'algorithme est donné par [3] :

Algorithm 2 Algorithme 2 - Algorithme de Bellman

Entrées : un réseau $R = (X, U, d)$ avec $d_u \geq 0 \ (\forall u \in U)$

Sorties : arborescence de plus courte distance (X, U')

(1) Poser $s = \{x_0\}$, $A = \emptyset$, $\pi(x_0) = 0$

$i = 1$

Marquer tout sommets y de N_i par $\pi_y = \min\{\pi(I(u)) + d(u)\} = \pi\{I(u) + d(u)\}$

tel que :

$u \in \{N_0 \cup N_1 \cup \dots \cup N_{i-1}\}$

$\pi(u) = y$

$A = A \cup \{u\}$

$s = s \cup \{y\} \leftarrow i = i + 1$

Aller en 1

Exemple

Soit le graphe suivant :

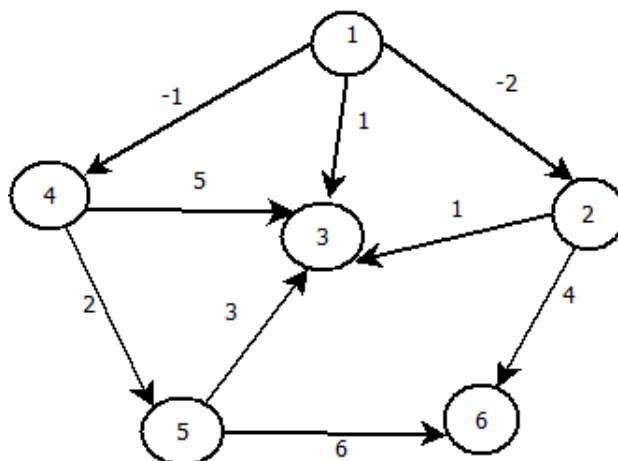


FIGURE 2.4 : G muni de poids avant la mise à niveau

On applique l'algorithme de mise à niveau , on trouve :

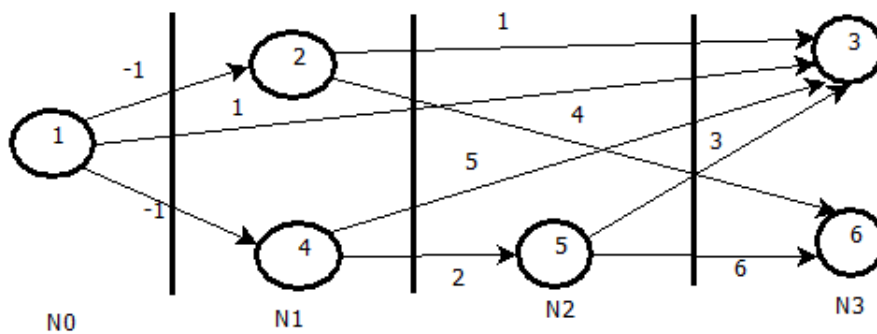


FIGURE 2.5 : G muni de poids après la mise à niveau

Puis on applique l'algorithme de Bellman :

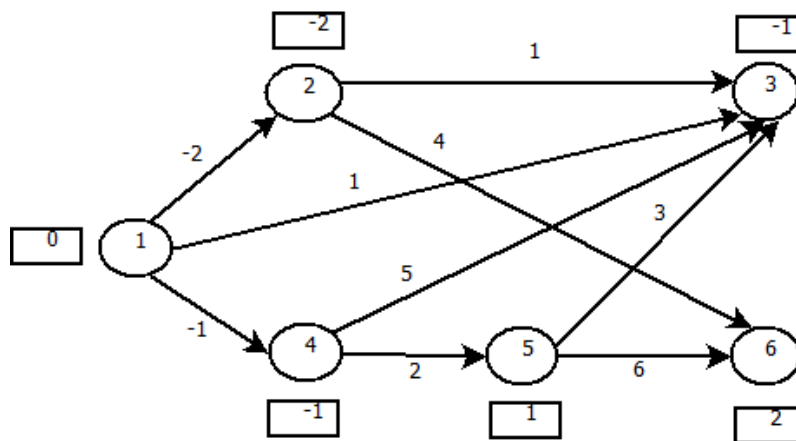


FIGURE 2.6 : application de l'algorithme de bellman

Donc l'arborescence de plus court chemin issue du sommet 1 est :

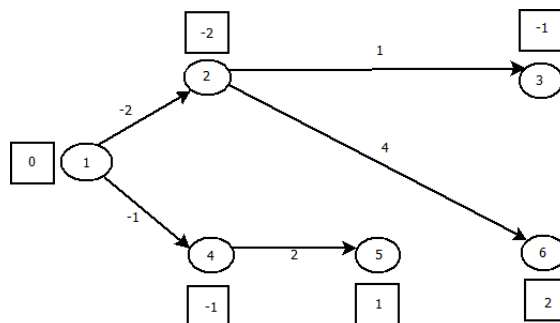


FIGURE 2.7 : arborescence de plus court chemin

4. Présentation du projet

Avant d'entamer la réalisation d'un projet, il est nécessaire d'établir une étude préalable, le but de cette étude est de concevoir et de spécifier l'ensemble des informations nécessaires (les tâches, leurs durées, leurs enchaînements, leurs ressources,...), pour l'établissement de ce planning.

Définition d'un parc à tube

Un parc à tube est une surface aménagée pour le stockage en plein air des consommables nécessaires à la réalisation des forages des puits pétrolier.

Cette surface est généralement séparée en deux zones, la première est nécessaire pour le stockage de matériel en Vrac simplement posé sur le sol, la seconde est une zone entièrement dédiée au stockage du tubulaire sur des espaces désignés sous le nom de rack de stockage tubulaire.

4.1. Découpage du projet

tout projets nécessite une installation du chantier, mais puisque la société dispose des moyens logistique et des infrastructures, donc l'installation du chantier est déjà faite.

Pour la réalisation du projet l'entreprise doit passer par plusieurs travaux, il importe de désigner et de définir les principales tâches.

Ce planning s'articule autour de 6 principales projets.

• Accès en terrain principales vers le parc a tubes

⊗ Déblais en terrain mit en dépôt

Il consiste à extraire les terres avec un engin (bulldozer) selon, la profondeur donnée par le topographe

Le déblai peut être utilisé comme remblais s'il est consistant et s'il répond aux normes techniques

Voici une image illustre le déblai :

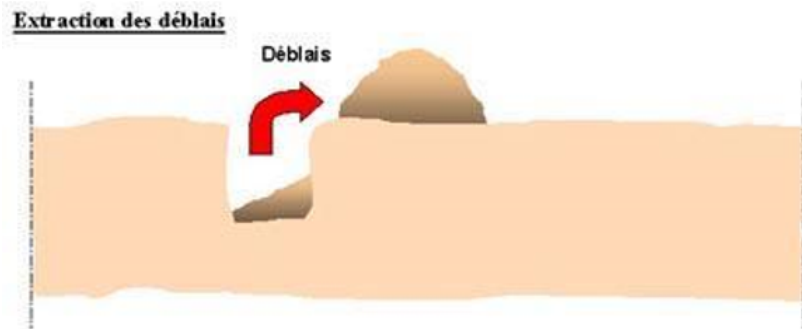


FIGURE 2.8 : Déblais en terrain

⊗ Ouverture de la piste d'accès à la niveleuse

Cette tâche consiste à donner l'accès à notre parc à tube à l'aide d'une niveleuse qui est un engin pour tous terrains, généralement automoteur, équipé d'une lame orientable au profil incurvé



FIGURE 2.9 : Opération de terrassement

⊗ Arrosage des pistes avant la pose de tuf

Cette tâche se fait à l'aide d'un camion citernes à vitesse constante de 10km/h pour assurer un dépit et une répartition uniforme avec 4 passes minimum la largeur d'arrosage est de 15m



FIGURE 2.10 : Arrosage des pistes par des camions citernes

⊗ Rechargement couche de fondation

La couche de fondation est la couche située sous la couche de base destinée à répartir les efforts dus aux charges verticales sur le sol de fondation et à former le support du revêtement. Elle assure un ensemble avec la couche de base à protection thermique de la plateforme.

Cette tâche comprend aussi le gerbage, transport, mise en place, malaxage et compactage

⊗ Rechargement couche de base

La couche de base est la couche située sous la couche de surface assurant une protection thermique de la plateforme (couche de forme) et une capacité portante du revêtement. Elle est destinée à répartir les efforts dus aux charges verticales.



FIGURE 2.11 : Couche de base

• Réalisation plateforme

Pour cette deuxième partie voici les principales tâches réalisées :

⊗ Déblais mis en remblais en terrain ordinaire

Le remblaiement de terrain est un travail de terrassement, il est très important car il permet de préparer et de modeler un terrain afin d'y accueillir une nouvelle construction

Il existe 2 types de remblais :

- les remblais ponctuels qui consistent à refermer des tranchées, à boucher des petits trous...
- les remblais massifs qui consistent à boucher de grandes fouilles, à combler des zones naturellement en cuvette. Il est conseillé de remblayer et de compacter par couches de 20 à 30 cm.



FIGURE 2.12 : Déblais mis en remblais

⊗ **Traitement et réglage des talus à la niveleuse**

La mise en place des talus fait partie des travaux de terrassement.

Pour calculer la pente d'un talus on prend l'emprise (distance qui sépare la base de la crête mesurée horizontalement) que l'on divise par la dénivelée (distance entre le haut et le bas du talus) ainsi on obtient un rapport emprise/dénivelée qui nous donne le pourcentage de pente. Exemple, si un talus a une emprise de 4 m et une dénivelée de 2m alors le rapport emprise/dénivelée est de 2 pour 1 donc la pente de 50

• **Revêtement en enrobe à chaud**

Un enrobé (ou enrobé bitumineux) est un mélange de graviers, sable et de liant hydrocarboné (appelé couramment goudron ou bitume) appliqué en une ou plusieurs couches pour constituer la chaussée des routes.



FIGURE 2.13 : Revêtement en enrobe

⊗ **Imprégnation au cut back avant la pose :**

C'est une couche de protection, Elle est réalisée de bitume fluidifié 0/1 dosé à 1kg/m³, son rôle d'envoie une bonne adhésion et renforce la protection mécanique, thermique et hydraulique par imperméabilisation

• Clôture métallique

Cette phase comprend les tâches principales suivantes :

⊗ Excavation fouille en puit ou en tranché à l'engin mécanique en terrain ordinaire

Les déblais sont les volumes issus des fouilles, les fouilles peuvent être :

- *en excavation* : pour tous les terrassements sur plus de 25 cm d'épaisseur comme par exemple les piscines, les fondations pour construction
- *en tranchées* : pour la réalisation des réseaux ou des fondations. Celles-ci ne devront pas dépasser les 2 m de largeur et 1 m de hauteur.

Si ces dimensions sont supérieures ou s'il y a un risque d'éboulement, la réalisation de fouilles blindées ou de parois inclinées est recommandée.



FIGURE 2.14 : Excavation fouille

⊗ Coffrage pour longrines

Les longrines ou poutres suppriment tous les problèmes de mise en place des armatures et de coffrage sur le chantier, ou risques de réalisation de fondations trop profondes

Elles représentent la solution pour un chantier où la rapidité d'exécution est prépondérante. Le chantier progresse sans difficulté, indépendamment de l'état du terrain, de la topographie, de la météo, elles présentent également une qualité de parement exceptionnelle. Les longrines périmétriques peuvent comporter un becquet qui sert de coffrage à la dalle de compression



FIGURE 2.15 : Coffrage pour longrines

⊗ La fourniture et pose clôture

Cette clôture est en fil barbelé fixé et soudé au-dessus de la clôture en panneaux métalliques



FIGURE 2.16 : Clôture en fil barbelé

• Réseau assainissement

voici les principales tâches réalisées :

⊗ Remblaiement des fouilles en puit ou en tranché à l'engin mécanique

Les fouilles sont implantées avant exécution et matérialisées sur le terrain par un marquage à la chaux ou à la peinture. Elles sont réalisées à l'aide d'un laser et d'une mire ce qui permet à la pelle de réaliser la fouille à la bonne profondeur : soit de 10 à 20 centimètres au-dessous de l'arase inférieure de la canalisation.



FIGURE 2.17 : Remblaiement des fouilles

• Travaux divers

⊗ Manutention transfère et stockage

Le stockage se fait à une hauteur maximum de 3 mètre des déchets et protecteurs sur rayon inférieur égale à 1.2km en utilisant les moyens suivants :

- camion benne
- chargeur sur pneu

• Emplacement du projet

c'est auprès de la base nommée 24 février de la société GCB située à Hassi-Messaoud que se situe le projet, rappelons à cet effet que le cout global du projet est estimé à 440 621 669 millions de dinars pour un délai de réalisation de 365 jours.



FIGURE 2.18 : L'emplacement du projet

5. Problématique

Toute entité économique (entreprise industrielle, entreprise du bâtiment, administration, sous-traitant, ...) doit assurer la cohérence technique et économique de la réalisation d'un projet et/ou service avec le contrat qui la lie au client. Cette réalisation doit amener la satisfaction du client (voir concept de qualité) en respectant le cahier des charges, les délais, et les coûts. Pour cela il faut effectuer deux types de gestions :

- une gestion technique : spécifications, délais.
- une gestion économique : coûts, prix de revient ...

Les différentes méthodes utilisées permettent de faire apparaître clairement et rapidement les données liées à la réalisation d'un projet , telles que :

- les temps, les délais.
- les moyens, ou ressources,
- les coûts.

La planification est un outils important et indispensable dans la gestion du projet .Dans le cadre de ses projets , une surveillance constante et une parfaite coordination des différentes cellules de travail pour éviter des pertes de temps souvent couteuses , C'est pour cela que les problèmes d'affectation , la planification et les problèmes d'ordonnancement constituent un domaine fertile pour l'utilisation des différentes méthodes pour résoudre les problèmes des entreprises .

Parmi les projets que la société de génie civil et batiments doit réaliser :

"La construction d'un parc a tube" situé à la base Hassi-Messaoud .

pour cela l'entreprise nous a demandé d'effectuer une gestion technique (spécifications , délais..) et une gestion économique (couts, prix de revient....), en terme de recherche opérationnelle la réalisation commence par effectuer un ordonnancement en précisant les tâches à accomplir , les ressources à utiliser et la période ou ces taches vont débiter afin de réaliser ce projet dans le meilleur délai , tout en respectant les conditions de déroulement de toutes les opérations pour faire apparaitre clairement les données à la réalisation de ce projet , telles que le temps , les délais , les couts , et les ressources)

L'entreprise GCB vise à améliorer sa politique de travail , cela consiste à avoir une meilleur gestion de n'importe quel projet à réaliser et de pouvoir le suivre à chaque étape, elle nous a fait confiance pour essayer d'apporter une approche de modélisation à ce problème. On s'intéresse dans ce travail à établir une planification du projet dont l'objectif est de minimiser la durée totale et le cot de ce projet.

Conclusion

Parmi les divers projets de la société, notre étude s'est portée sur le projet de construction d'un parc a tube, vue de le planifier et de l'optimiser.

Dans cet aspect, nous présentons par la suite les méthodes d'ordonnancement qu'on peut regrouper en deux catégories :

- Méthode de type diagramme de GANTT.
- Les méthodes basée sur la modélisation par les graphes à savoir la méthode MPM et PERT.

Chapitre 3

L'ordonnancement de projet

Introduction

Le problème de la planification et de l'ordonnancement de projet représente l'un des problèmes les plus complexes, parmi les situations les plus connues, citons la gestion de projet.

La gestion d'un projet se déroule en quatre étapes : la planification, l'ordonnancement, l'exécution et le contrôle.

Dans ce chapitre nous allons présenter les concepts et les éléments de base de la gestion de projet, ainsi que les définitions de la planification et de l'ordonnancement avec ses différentes méthodes.

1. La gestion de projet

dans la vie d'aujourd'hui où on compte une infinité de projets qui se réalisent, on remarque que ces projets n'atteignent pas souvent leurs objectifs à cause du dépassement de délais (surcoûts importants, ou bien la qualité technique du produit est insuffisante). Notons également que les projets se déroulent dans un milieu complexe (acteurs divers dans une entreprise : étude, production, marketing, environnement extérieur non maîtrisable : marché, social, politique, concurrence, etc.). C'est pour ces raisons qu'il faut avoir une démarche claire et rigoureuse pour la gestion d'un projet

On peut presque considérer la gestion de projet comme une discipline universelle puisqu'elle englobe un large éventail d'activités : de l'élaboration de nouveaux produits et services, à l'organisation de conférences et d'ateliers, en passant par la modernisation de bureaux d'une entreprise. Si on dispose d'un budget illimité et de tout temps nécessaire, la gestion de projet serait plutôt facile. En réalité, le temps et l'argent sont des facteurs déterminants et, par conséquent, la gestion de projet devient une compétence importante à maîtriser.

1.1. Définition

La gestion de projet est l'utilisation d'un savoir, d'habiletés, d'outils et de techniques dans le cadre des activités d'un projet, en vue de satisfaire ou de dépasser les exigences et les attentes des parties prenantes à l'égard d'un projet[7] .

Le gestionnaire de projet, parfois appelé coordonnateur ou chef de projet, en administre les détails, au jour le jour. Il s'agit là d'un défi constant qui demande une compréhension du contexte plus général du projet et la capacité de concilier des exigences contradictoires telles que :

- les ressources disponibles et les attentes ;
- les priorités différentes des parties prenantes ;
- les besoins définis et à la portée du projet ;
- la qualité et la quantité.

2. Le Projet

Un projet est défini comme une démarche spécifique permet de structurer méthodiquement et progressivement une réalité à venir

Il est un effort complexe pour atteindre un objectif spécifique de qualité, devant respecter un échéancier et un budget. Un projet est défini et mis en oeuvre pour élaborer une réponse au besoin d'un utilisateur, d'un client ou d'une clientèle et il implique un objectif et des actions à entreprendre avec des ressources données. Il est réalisé une seule fois, doté d'un début et d'une fin déterminée et qui vise à créer un produit ou un savoir unique. Il peut nécessiter la participation d'une seule ou de milliers de personnes. Sa durée peut être de quelques jours ou de plusieurs années. Il peut être entrepris par une seule organisation ou par un groupe d'organismes intéressés. Il peut s'agir de quelque chose d'aussi simple que l'organisation d'un événement d'une journée ou d'aussi complexe que la construction d'un barrage sur une rivière[9].

Les principes de base de la gestion de projet sont représentés par le schéma suivant[9] :

- **Le délai** :il s'agit du temps nécessaire pour achever le projet tel qu'il est décrit dans les prévisions.
- **Le coût** :le coût du projet est basé sur les coûts des ressources, c'est-à-dire le personnel, l'équipement et les matériels nécessaires à la réalisation des tâches.
- **La qualité** :il s'agit des objectifs et des tâches du projet ainsi que du travail nécessaire pour atteindre ces objectifs.

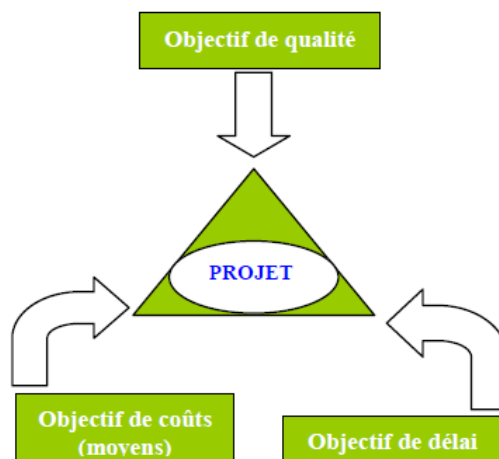


FIGURE 3.1 : Les objectifs du projet

2.1. Caractéristiques d'un projet

Un projet réussi doit contenir les particularités suivantes[5] :

• **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 permet d'adopter des mesures correctives tôt dans le processus si les choses tournent mal.

2.2. Cycle de vie d'un projet

Un projet a également un cycle de vie précis : il débute, se réalise puis se termine. Les différentes phases du cycle de vie d'un projet sont[2] :

1. Lancement
2. Planification
3. Exécution
4. Suivi
5. Clôture

La figure suivante illustre le déroulement du processus de gestion d'un projet.

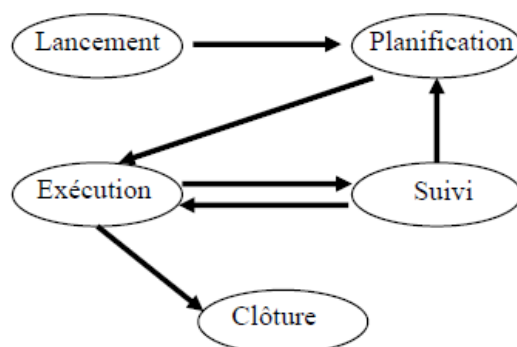


FIGURE 3.2 : Cycle de vie d'un projet

3. Le découpage d'un projet

3.1. Work Breakdown Structure (WBS) ou Organigramme des Tâches (OT)

La décomposition structurée des activités (Work Breakdown Structure) permet de recenser des activités du projet et de les décomposer, cette décomposition apparaît sous forme arborescente. Il s'agit d'une décomposition purement statique : elle ne tient pas du compte du temps, et par conséquent ne s'attache pas à l'ordonnancement des activités. Elle permet une présentation analytique : on doit décomposer jusqu'à obtenir des activités qui soient bien définies et facile à gérer c'est-à-dire dont les entrées et résultats sont parfaitement identifiés et dont la responsabilité est confiée à une ou des personnes précise(s). Elle peut se présenter sous forme d'organigramme ou de tableau[8].

Elle permet au chef de projet de planifier son projet en établissant le graphe PERT de celui-ci. Elle permet le suivi budgétaire du projet en liaison avec les activités élémentaires identifiées lors de la construction du PERT. La WBS doit être complète car elle conditionne l'élaboration du PERT et donc du budget, elle doit être non ambiguë dans la définition des activités. Elle doit définir les activités dont le résultat est mesurable, ces activités feront l'objet d'affectation de ressources.

4. L'Ordonnancement

4.1. Définition

*« ordonnancer c'est programmer l'exécution d'une réalisation en attribuant des ressources aux tâches et en fixant leurs dates d'exécution. »*⁶

Un problème d'ordonnancement se pose lorsqu'il s'agit d'organiser dans le temps, l'exécution de diverses tâches soumises à des contraintes et auxquelles sont attribuées des ressources, de manière à satisfaire un ou plusieurs objectifs donnés

Il décrit l'exécution des tâches et l'allocation des ressources au cours du temps, et vise à satisfaire un ou plusieurs objectifs. Plus précisément, on parle de problème d'ordonnancement lorsqu'on doit déterminer les dates de début et les dates de fin des tâches, alors qu'on réserve le terme de problème de séquençement au cas où l'on cherche seulement à fixer un ordre relatif entre les tâches qui peuvent être en conflit pour l'utilisation des ressources. Il induit nécessairement un ensemble unique de relations de séquençement[11].

Les problèmes d'ordonnancement se rencontrent dans divers domaines. Citons par exemple : les systèmes informatiques, où les tâches représentent les programmes et les ressources sont les processeurs ou la mémoire, la gestion de production, la conception des emplois des temps, etc.

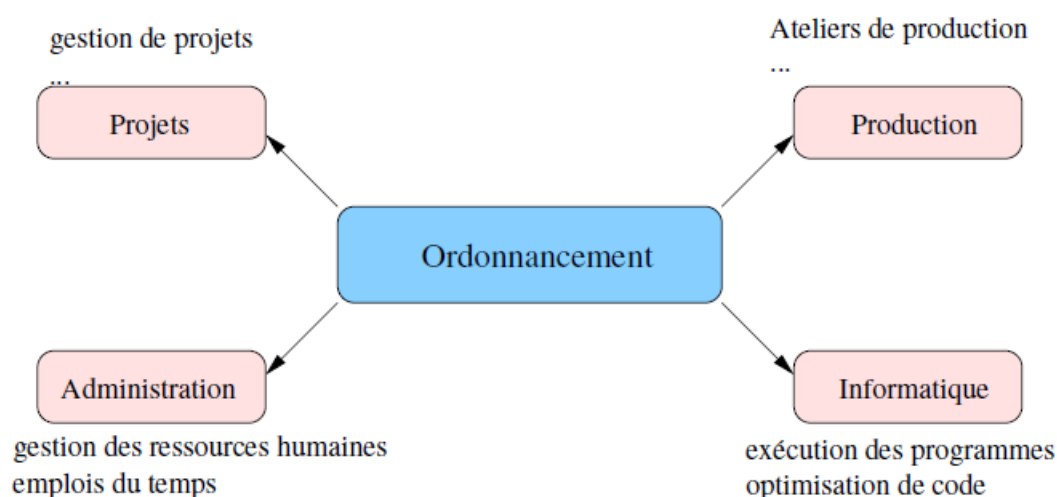


FIGURE 3.3 : domaines d'ordonnancement

Les caractéristiques des problèmes d'ordonnancement peuvent dépendre du contexte ; toutefois, on peut dégager des éléments de base qui sont les tâches, les ressources, les contraintes et les objectifs à réaliser ainsi que les critères d'évaluation, définis tour à tour ci-après.

5. Concepts de base

5.1. Les tâches

Une tâche est une entité élémentaire localisée dans le temps par une date de début et/ou de fin, dont la réalisation nécessite une durée, et qui consomme un moyen selon une certaine intensité. Les tâches sont le plus souvent, liées entre elles par des conditions

d'origines diverses ; on dit alors que les tâches sont interdépendantes. Dans le cas contraire, elles sont dites indépendantes[10].

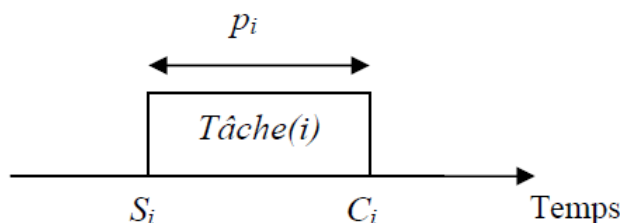


FIGURE 3.4 : Une tâche

S_i : date de début

C_i : date de fin

p_i : durée d'exécution

5.2. Etape

Une étape indique le début et/ou la fin d'une tâche.

5.3. Jalon

Un jalon (milestone) est un événement particulier qui marque le début ou la fin d'une partie bien identifiée du projet. Il est en général associé à une date précise. C'est un repère prédéterminé et significatif dans le cours du projet[4].

5.4. Les ressources

Une ressource est un moyen technique ou humain destiné à être utilisé pour la réalisation d'au moins une tâche et disponible en quantité limitée appelée capacité de la ressource

On distingue différents types de ressources. Elles peuvent être classées selon leurs disponibilités au cours du temps et on parle dans ce cas de ressources renouvelables et consommables, ou selon leurs capacités et on parle dans ce cas de ressources disjonctives (non partageables) et cumulatives (partageables).

•**Ressource renouvelable** : il s'agit d'une ressource pouvant redevenir disponible en même quantité après avoir été allouée à une tâche (les machines, les hommes, l'équipement,...

•**Ressource consommable** : il s'agit d'une ressource dont la disponibilité décroît après avoir été allouée à une tâche, par exemple la matière première.

•**Ressource disjonctive** : il s'agit d'une ressource qui ne peut exécuter qu'une seule tâche à la fois.

• **Ressource cumulative** : il s'agit d'une ressource qui peut être utilisée simultanément par plusieurs tâches.

Lorsque plusieurs ressources sont nécessaires simultanément pour assurer la réalisation d'une tâche, on parle de problèmes d'ordonnancement multiressources. En revanche, un problème d'ordonnancement est dit monoressource lorsqu'une seule ressource est nécessaire et suffisante pour la réalisation de chaque tâche.

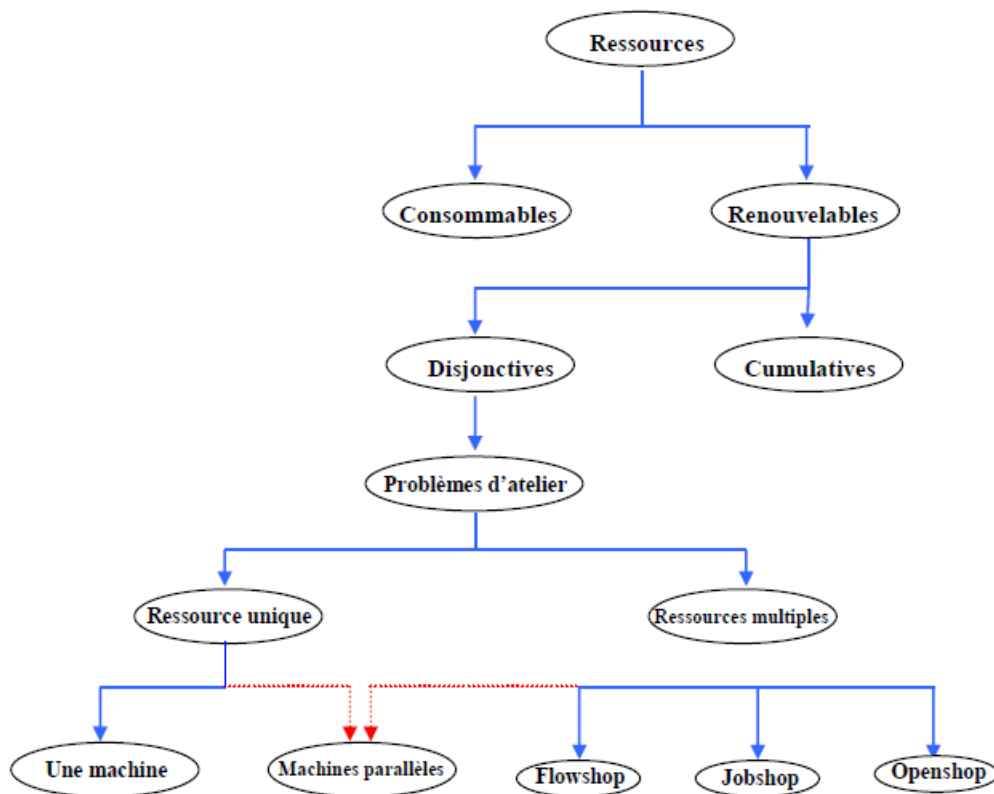


FIGURE 3.5 : Typologie des problèmes d'ordonnancement par les ressources

5.5. Les contraintes

Une contrainte est une restriction sur les valeurs que peuvent prendre une ou plusieurs variables de décision sur le temps (variable d'ordonnancement) ou bien sur les ressources (variables d'affectation)

les contraintes auxquelles sont soumises les diverses tâches qui concourent à la réalisation du projet sont de divers types. On distingue :

Les contraintes potentielles

Elles peuvent être de deux sortes :

- **Les contraintes d'antériorité** selon laquelle une tâche j ne peut commencer avant une tâche i ne soit terminée, par exemple, la construction des piliers suit les fondations.
- **Les contraintes de localisation temporelle** impliquant qu'une tâche donnée i ne peut débuter avant une date imposée, ou qu'elle peut s'achever après une date imposée.

Les contraintes disjonctives

Une contrainte disjonctive impose la non-réalisation simultanée de deux tâches A et B. On trouve de telles contraintes dans le cas d'utilisation d'une ressource présente en un seul exemplaire (une grue, une équipe, etc.) ou pour formuler des interdictions de réalisation simultanée pour des raisons de sécurité ou des problèmes de place. Arbitrer une contrainte disjonctive consiste à décider si A sera fait avant B ou l'inverse.

Les contraintes cumulatives

on parle de contraintes cumulatives lorsque les tâches demandent une partie d'une ou plusieurs ressources présentes en quantité limitée. Le problème est beaucoup plus combinatoire que pour les contraintes disjonctives.

6. La planification

La planification est l'organisation dans le temps de réalisation des tâches, d'où les tâches et les ressources sont identifiées et des évaluations de leurs caractéristiques sont entreprises[5].

C'est l'activité qui consiste à déterminer et ordonnancer les tâches d'un projet, estimer leurs charges et déterminer les ressources nécessaires à leurs réalisations.

6.1. Les étapes de la planification

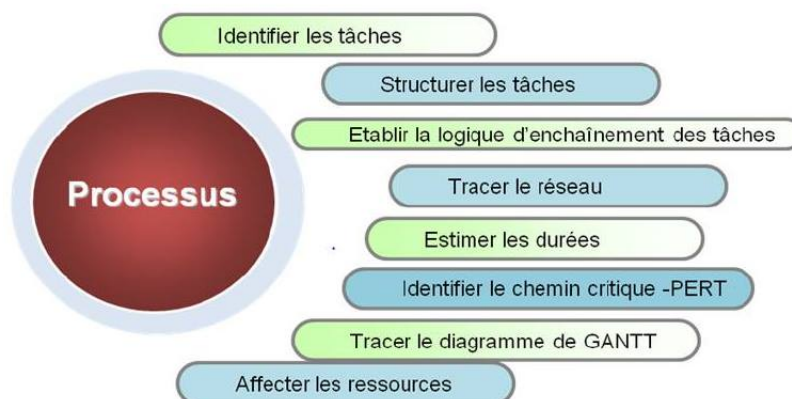


FIGURE 3.6 : Les étapes de planification

7. Les techniques d'ordonnement

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

1. Nous avons celles qui visualisent le positionnement des actions sur une échelle de temps tel que : le diagramme de GANTT ; le GANTT fléché .
2. Celles qui visualisent les actions et leur enchaînement logique par un réseau sans échelle de temps comme les méthodes : PERT, méthode des potentiels métra (MPM).

7.1. Méthode GANTT (Bar chart ou planning a barres)

Définition :

Le diagramme de GANTT est un outil permettant de modéliser la planification de tâches nécessaires à la réalisation d'un projet. Il a été mis au point par Henry L. Gantt, collaborateur de Taylor en 1917. Un diagramme de Gantt répertorie toutes les tâches à accomplir pour mener le projet à bien, et indique la date à laquelle ces tâches doivent être effectuées (le planning)¹⁴.

Étant donné la relative facilité de lecture des diagrammes GANTT, cet outil est utilisé par la quasi-totalité des chefs de projet dans tous les secteurs, permettant de représenter graphiquement l'avancement du projet, mais c'est également un bon moyen de communication entre les différents acteurs d'un projet.

Ce type de modélisation est particulièrement facile à mettre en œuvre. Pour ce faire, ils exploitent généralement l'un des outils logiciels disponibles sur le marché, tels Microsoft

Project, Primavera

Principe :

Le diagramme de Gantt, couramment utilisé en gestion de projet, est l'un des outils les plus efficaces pour représenter visuellement l'état d'avancement des différentes activités (tâches) qui constituent un projet. Dans un diagramme de GANTT chaque tâche est représentée par une ligne, tandis que les colonnes représentent les jours, semaines ou mois du calendrier selon la durée du projet.

Le temps estimé pour une tâche se modélise par une barre horizontale dont l'extrémité gauche est positionnée sur la date prévue de démarrage et l'extrémité droite sur la date prévue de fin de réalisation. Les tâches peuvent s'enchaîner séquentiellement ou bien être exécutées en parallèle. Ce diagramme permet donc de visualiser d'un seul coup d'œil :

- Les différentes tâches à envisager.
- La date de début et la date de fin de chaque tâche.
- La durée comptée de chaque tâche .
- Le chevauchement éventuel des tâches, et la durée de ce chevauchement.
- La date de début et la date de fin du projet dans son ensemble.

Réalisation :

Les différentes étapes de réalisation d'un diagramme de Gantt sont les suivantes :

- Etape1 : On détermine les différentes tâches (activités) à réaliser et leurs durées.
- Etape2 : On définit les relations d'antériorité entre tâches.
- Etape3 : On présente d'abord les tâches n'ayant aucune antériorité, puis les tâches dont les tâches antérieures ont déjà été présentées, et ainsi de suite ...
- Etape4 : On présente par un trait parallèle en pointillé à la tâche planifiée la progression réelle du travail.

Exemple

La figure 3.7 représente un diagramme de Gantt où chaque colonne représente une unité de temps, les traits épais représentent les durées d'exécution prévues des tâches et les traits pointillés représentent le déroulement d'exécution. Par exemple, la tâche B, qui dure 5 unités de temps, ne peut commencer son exécution qu'après la fin de la tâche A et elle peut s'exécuter en même temps que la tâche C.

temps tâches	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	----- ██████████										
B				----- ████████████████████							
C				----- ██████████							
D									----- ██████████		
E										----- ██████████	

FIGURE 3.7 : Un exemple du diagramme de Gantt

Le chemin critique est formé d'une succession de tâches sur le chemin le plus long en terme de durées (A,B,D,E dans l'exemple). Il est appelé chemin critique parce que tout retard pris sur l'une des tâches de ce chemin entraîne du retard dans l'achèvement du projet.

Le diagramme de Gantt permet de déterminer la date de réalisation d'un projet et d'identifier les marges existantes sur certaines tâches (avec une date de début au plus tôt et une date de fin au plus tard). Son point faible est que son application est limitée à des problèmes particuliers.

7.2. Diagramme de GANTT fléché (activités avec présentation des liaisons)

Le GANTT fléché est une amélioration du GANTT normal, il consiste à faire apparaître les contraintes (liaisons) entre les tâches. C'est un diagramme de GANTT qui exprime les relations de dépendance entre les opérations, par des flèches.

On peut établir quatre types de liaison différents entre deux tâches :

1. **Fin à Début (FD) (la liaison par défaut)** : La tâche ne peut pas commencer avant que le prédécesseur ne se termine. Elle peut toutefois commencer plus tard. Il s'agit du type de dépendance le plus courant
2. **Début à Début (DD)** : La tâche ne peut pas commencer avant que la tâche prédécesseur ne commence. Elle peut toutefois commencer plus tard. Cette relation est utile lorsque vous considérez une tâche dont la date de début dépend de la date de début d'une autre tâche.
3. **Fin à Fin (FF)** : La tâche ne peut pas se terminer avant que la tâche prédécesseur n'ait pris fin. Elle peut toutefois se terminer plus tard.

4. **Début à Fin (DF)** : La tâche ne peut pas se terminer avant que la tâche précédente ne commence. Elle peut toutefois se terminer plus tard. Ce type de liaison est rarement utilisé.

Avantages de GANTT fléché :

Ce diagramme présente au moins deux avantages supplémentaires par rapport au GANTT normal :

- Il met en évidence les relations d'ordre entre les activités, ce qui favorise la compréhension du déroulement prévu du projet.
- Il permet en cours de réalisation, de mesurer les conséquences du retard d'une activité sur celle qui en dépendent.

Inconvénients de ce diagramme :

Lorsque les dépendances sont nombreuses et enchevêtrées, l'exploitation du planning devient plus difficile.

7.3. La méthode des potentiels (MPM)

La méthode des potentiels Métra a été créée en 1958 par le chercheur français Bernard Roy, sous le nom de méthode MPM (Méthode des Potentiels Métra) elle utilise systématiquement des relations d'ordre initiales (Début- Début).

Elle fait partie des méthodes dites "potentiel-tâches" où les Activités (tâches) sont représentées par les sommets et les relations d'ordre entre activités successives par des liaisons (arcs).

Principe :

- Les tâches sont représentées par des sommets et les contraintes de succession par des arcs
- Chaque tâche est renseignée par la date à laquelle elle peut commencer (date au plus tôt) et celle à laquelle, elle doit se terminer (date au plus tard).
- A chaque arc est associée une valeur numérique, qui représente soit une durée d'opération, soit un délai.

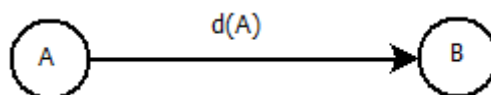


FIGURE 3.8 : Représentation de type potentiel tâche

Exemple

La rénovation du séjour d'un appartement se décompose en plusieurs tâches décrites dans le tableau ci-dessous. Ce dernier donne également les précédences à respecter lors de la planification des travaux ainsi qu'une estimation de la durée de chacune des tâches.

Tâches		Durée (en jours)	Antériorité
A	Enlèvement des portes	1	-
B	Ponçage et peinture des portes	3	A
C	Pose des portes	1	A
D	Tirage des fils électriques	1	A
E	Pose des prises	1	B,D
F	Ragréage des murs	3	B,C
G	Peinture du plafond	2	B
H	Peinture des cadres	1	F,G
I	Peinture du balcon	2	E,H

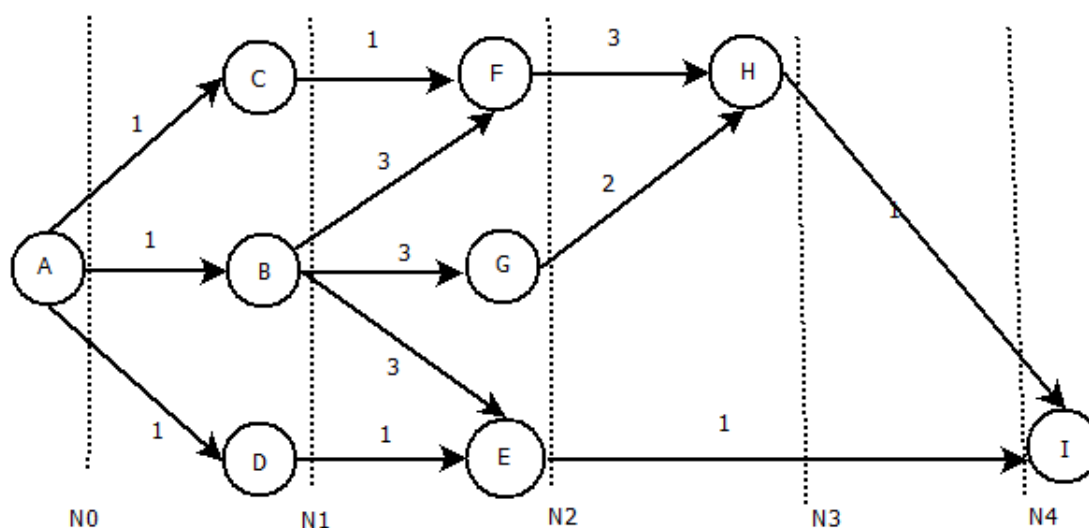


FIGURE 3.9 : Un exemple du graphe MPM

7.4. Méthode PERT

Définition :

PERT est une méthode d'ordonnancement de projets importants à long terme, permettant la coordination optimale des tâches constituant ce projet.

PERT signifie «**Program Evaluation and Review Technique**» c.à.d. «**Technique d'organisation et de contrôle des projets**»

PERT présente d'une façon visuelle l'enchaînement logique des tâches en vue :

- De faciliter la coordination et le contrôle.
- D'améliorer les prévisions de durée et de coût.

Le tracé du réseau PERT permet de connaître le chemin critique et par conséquent :

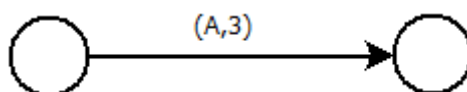
- La durée totale du projet.
- Les tâches pour lesquelles tout retard entraîne l'allongement du projet.

Principe

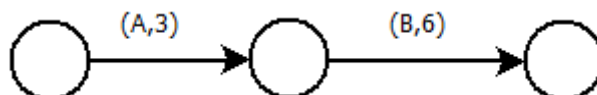
Dans un graphe PERT :

- Chaque tâche est représentée par un arc, auquel on associe un chiffre entre parenthèses qui représente la durée de la tâche.
- Entre les arcs figurent des cercles appelés « sommets » ou « événement » qui marque l'aboutissement d'une ou plusieurs tâches. Ces cercles sont numérotés afin de suivre l'ordre de succession des divers événements.

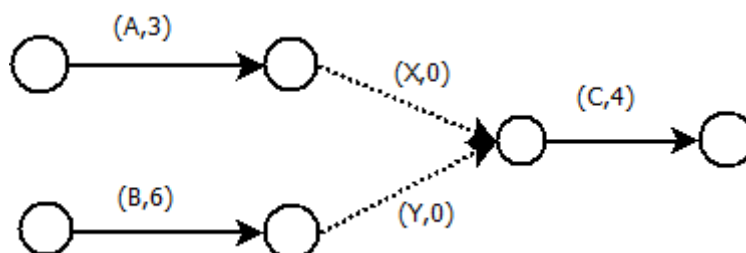
Si A une tâche de durée $d=3$ on la représente comme suit : Si A et B deux tâches de durée



respectivement 3 et 6 et A est une tâche qui précède B, on obtient la représentation suivante :



Si A, B et C trois tâches de durée respectivement 3, 6 et 4 et que C ne peut pas être réalisé qu'après la réalisation de A et B, dans ce cas la représentation nécessite des arcs fictives de durée nulle. On peut représenter cette situation de la manière suivante :



Réalisation du réseau PERT

Pour construire un graphe PERT, on utilise la méthode des niveaux :

- On détermine les tâches sans antécédents, qui constituent le niveau 1.
- On identifie ensuite les tâches dont les antécédents sont exclusivement du niveau 1. Ces tâches constituent le niveau 2, et ainsi de suite...

Avantages de PERT

PERT permet :

- La visualisation de la dépendance des tâches et de procéder à leur ordonnancement.
- La prise en compte des différentes tâches à réaliser et des antériorités à respecter entre ces tâches.
- La détermination de la durée globale du projet et des tâches qui la conditionnent.
- La détermination des tâches pour lesquelles du temps est disponible (notion de marge).
- La détermination des tâches pour lesquelles du temps est disponible (notion de marge).

Exemple :

Avec le même exemple précédent on obtient le graphe suivant :

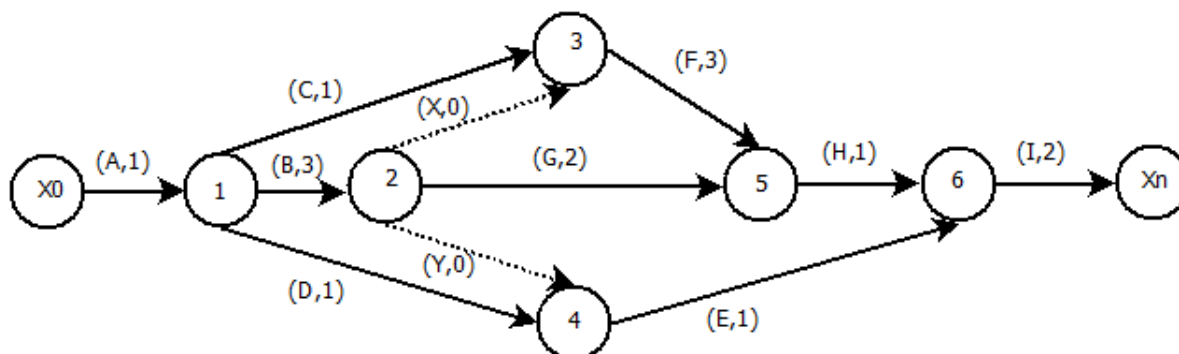


FIGURE 3.10 : Un exemple du graphe PERT

Remarque : X et Y sont des tâches fictives .

8. Notion des dates et marges

• Date de début au plus tôt

La date de début au plus tôt d'une tâche i , qu'on la note t_i est la date minimum à laquelle elle peut commencer. C'est donc la date avant laquelle un événement ne peut pas se réaliser.

• Date de début au plus tard

La date de début au plus tard d'une tâche i , notée T_i , est la date limite de sa réalisation.

Après quoi le projet sera retardé.

- **Date de fin au plus tôt**

La date de fin au plus tôt d'une tâche i , notée tf_i est la date à laquelle la tâche i se termine en commençant à sa date de début au plus tôt.

- **Date de fin au plus tard**

La date de fin au plus tard d'une tâche i , notée Tf_i est la date minimum des dates de fin au plus tard des tâches qui succèdent. Elle est la date à laquelle la tâche i se termine si elle commence à sa date de début au plus tard.

- **Marge totale**

La marge totale de la tâche i , notée MT_i , est le retard maximum que l'on peut apporter au démarrage de la tâche i sans perturber la de fin du projet, mais en acceptant de perturber l'exécution d'autre tâche.

- **Marge libre**

La marge libre de la tâche i , notée ML_i , le retard maximum que l'on peut apporter au démarrage de la tâche i non seulement sans allonger le délai total du projet, mais aussi sans décaler l'exécution d'aucune autre tâche du projet

- **Marge certaine**

La marge certaine de la tâche i , notée MC_i , est le retard maximum quand peut apporter au démarrage de la tâche i sans perturber la réalisation au plus tôt de l'évènement suivant bien que l'évènement précédent n'a été réalisé qu'à sa date limite.

9. Calcul des dates et des marges

Une tâche ne peut démarrer que lorsque les tâches de tous les chemins de α à A dont la longueur est la date minimum du début d'exécution de A , c'est-à-dire la date du début au plus tôt t_A .

L'exécution d'un projet ne se termine donc que lorsque toutes ses tâches sont exécutées, en particulier celles de plus long chemin de α à ω .

Les dates de début au plus tôt des tâches d'un problème d'ordonnancement sont donc déterminées à partir de l'arborescence des plus longs chemins du graphe des potentiels ou du graphe PERT.

Les graphes étant sans circuits, nous appliquerons l'algorithme de Bellman de recherche de plus long chemin pour déterminer les dates de début au plus tôt.

Méthode de Calcul des dates

Calcul des dates de début au plus tôt

Pour calculer la date de début au plus tôt de la tâche A ' t_A ' on procède comme suit :

La date de début au plus tôt de la tâche α est initialisée à 0 donc nous avons : $t_\alpha = 0$

Pour les autres tâches :

Soit il y a un seul arc entre les tâches A et B telle que la tâche A précède la tâche B alors : La date de début de la tâche B égale la date de début au plus tôt de la tâche A plus la durée de A ' d_A ' donc :

$$t_B = t_A + d_A$$

- Soit il y a k arcs ($k \geq 2$) alors

$$t_B = \max(t_{A1} + d_{A1}, \dots, t_{Ak} + d_{Ak})$$

Calcul des dates de début au plus tard

Pour la date de début au plus tard de la tâche A ' T_A ' nous avons :

La date de début au plus tard de la tâche ω ' T_ω ' est initialisée à sa date de début au plus tôt donc : $T_\omega = t_\omega$.

- Soit il y a un seul arc entre A et B alors :

La date de début au plus tard de la tâche A égale la date de début au plus tard de la tâche B moins la durée de la tâche A donc :

$$T_A = t_B - d_A$$

- Soit il y a k arcs qui sortent de la tâche A alors :

$$T_A = \min(T_{B1}, \dots, T_{Bk}) - d_A$$

Calcul des dates de fin au plus tôt et au plus tard

Pour le calcul de la date de fin au plus tôt de la tâche A notée tf_A , elle s'obtient clairement en ajoutant la durée de la tâche A à sa date de début au plus tôt :

$$tf_A = t_A + d_A$$

La date de fin au plus tard de la tâche A notée Tf_A , s'obtient en ajoutant sa durée à sa date de début au plus tard :

$$Tf_A = T_A + d_A$$

9.1. Calcul des marges

Marge totale

La marge totale d'une tâche A est égale à la différence entre la date de début au plus tard et la date de début au plus tôt (ou entre la date de fin au plus tard et la date de fin au plus tôt) d'une même tâche. C'est à dire :

$$MT_A = T_A - t_A \text{ (ou } MT_A = Tf_A - tf_A)$$

Marge libre

La marge libre d'une tâche A est égale à la différence entre la plus petite des dates de début au plus tôt des tâches immédiatement suivantes de A et la date de fin au plus tôt de la tâche A.

C'est-à-dire :

$$ML_A = \min(t_{A1}, t_{A2}, \dots, t_{Ak}) - tf_A$$

Les tâches A1, A2, ..., Ak sont les tâches qui succèdent la tâche A.

Marge certaine

La marge certaine d'une tâche A apparaît comme l'écart, s'il est positif, entre la plus grande des dates de fin au plus tard des tâches précédentes de A et la plus petite des dates de début au plus tôt des tâches qui succèdent A, cette dernière étant diminuée de la durée propre de la tâche A.

C'est-à-dire :

$$MC_A = \min_{j=1 \text{ à } p}(t_j) - \max_{i=1 \text{ à } p}(Tf_i) - d_A$$

- $\min_{j=1 \text{ à } p}(t_j)$ désigne le minimum des dates de début au plus tôt de l'ensemble des tâches qui succèdent la tâche A.
- $\max_{i=1 \text{ à } p}(Tf_i)$ représente le maximum des dates de fin au plus tard de l'ensemble des tâches antérieures de A
- d_A représente la durée de la tâche A.

Tâche critique

une tâche dont la marge totale est nulle, c'est en quelque sorte une tâche "urgente", une tâche sur laquelle il ne faut pas prendre de retard si l'on ne veut pas augmenter la durée totale du projet.

Chemin critique

Indique quelles sont les tâches à successivement observer au cours de la mise en œuvre du projet afin de surveiller les éventuels retards.

Exemple :

Reprenons le même exemple du projet de rénovation du séjour d'un appartement :

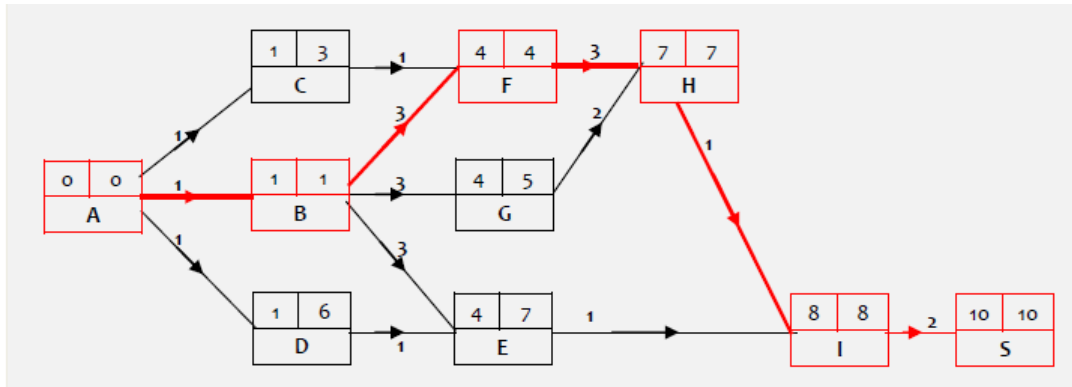


FIGURE 3.11 : Solution avec la méthode MPM

Le chemin critique : ABFHI et la durée minimale du projet : 10 jours.

Tâche	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Marge Totale	0	0	2	5	3	0	1	0	0
Marge Libre	0	0	2	2	3	0	1	0	0

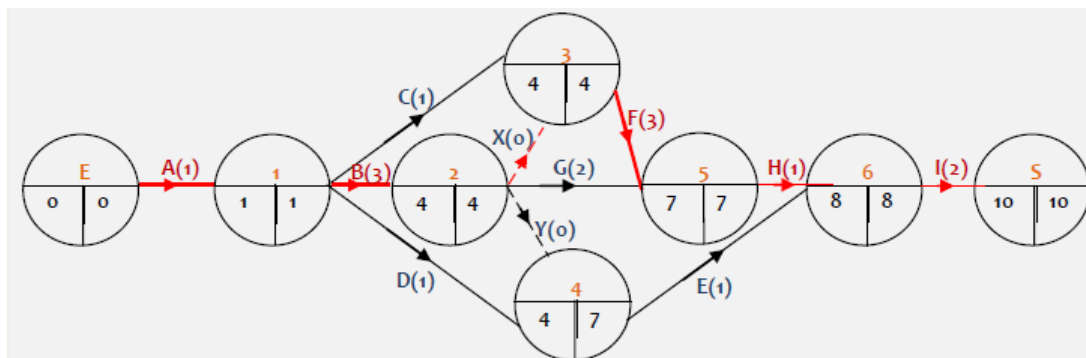


FIGURE 3.12 : Solution avec la méthode PERT

Le chemin critique : ABFHI et la durée minimale du projet : 10 jours.

Tâche	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Marge Totale	0	0	2	5	3	0	1	0	0
Marge Libre	0	0	2	2	3	0	1	0	0
Marge Certaine	0	0	2	2	0	0	1	0	0

X étant une tâche fictive, elle ne peut être reprise dans le chemin critique.

Conclusion

Nous venons de voir dans ce chapitre la gestion de projet avec ses différentes étapes. Ensuite nous avons étudié les différentes techniques des problèmes d'ordonnancement de projet ainsi que sa résolution.

L'objectif de l'ordonnancement est non seulement d'organiser les activités dans le temps, mais également de permettre aux décideurs d'estimer les dates finales du projet.

Chapitre 4

Modélisation du projet

Introduction

Les problèmes d'organisation rencontrés dans une entreprise ne sont pas mathématiques dans leur nature. Mais les mathématiques peuvent permettre de résoudre ces problèmes. Pour cela il faut traduire le problème dans un cadre mathématique, cadre dans lequel les techniques de la recherche opérationnelle pourront s'appliquer. Cette traduction est la modélisation. La modélisation d'un problème donné est une étape qui consiste à extraire une image aussi fidèle que possible du système. Cette image peut prendre plusieurs formes mathématiques comme en programmation linéaire, en statistique comme un modèle statistique et sous forme graphe en théorie des graphes.

Un modèle mathématique est une traduction de la réalité pour pouvoir lui appliquer les outils, les techniques et les théories mathématiques, puis généralement, en sens inverse, la traduction des résultats mathématiques obtenus en prédictions ou opérations dans le monde réel.

Dans ce chapitre, nous allons donner la modélisation de ce problème en deux approches, la première a pour objet de donner une présentation du problème par la théorie des graphes, la deuxième est consacré à la réalisation d'un modèle mathématique qui modélise le problème.

1. Modélisation

Un projet est découpé en un ensemble de tâches T_i pour lesquelles on dispose des informations suivantes :

- Chaque tâche T_i a une durée d_i supposée connue avec certitude
- Ces tâches sont liées entre elles par des contraintes de succession
- Les tâches peuvent être affectées de contraintes de localisation temporelle par exemple, date du début imposée pour une tâche.

nous fixons les notations suivantes :

- Nous avons un ensemble de tâches $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ à exécuter
- On adopte dans toute la suite la notation d_i qui désigne la durée d'exécution de la tâche T_i .

1.1. Les Variables de décision

on attribue aux variables du problème des symboles qu'on note ainsi :

t_i : date de début de la tâche T_i .

t_f : le temps de fin du projet.

1.2. Les Contraintes

Dans le cadre du problème d'ordonnancement, on peut prendre en compte, les contraintes suivantes :

a) Contraintes de successions totale :

La tâche T_j ne peut commencer avant la fin de T_i :

$$t_j - t_i \geq d_i$$

b) Contrainte de non négativité :

$$t_i \geq 0$$

1.3. Fonction objectif

L'objectif étant de minimiser le temps de réalisation du projet, on écrit la fonction objectif comme suit :

$$\text{Min}Z = t_f - t_0$$

où t_0 dénote la date de début du projet que l'on peut fixer à $t_0 = 0$

2. Le modèle mathématique

$$(p) \left\{ \begin{array}{l} \text{Min}Z = t_f - t_0 \\ \text{S.c :} \\ t_j - t_i \geq d_i \\ t_i \geq 0 \quad \forall i \in T \end{array} \right.$$

2.1. Etude de cas

Les données

Le tableau ci-dessus résume les données du projet.

Tâches	Nom de la tâche	Durée	Prédécesseur totale
1	Déblais en terrain ordinaire mis en dépôt	10 j	-
2	Ouverture de la piste d'accès à la niveleuse y compris reprofilage surfaçage et réglage	10 j	1
3	Arrossage des pistes avant la pose de tuf par des camions citernes	15 j	3
4	Rechargement couche de fondation y compris recherche de carrieres,gerbage transport,mise en place,arrosage malaxage et compactage	15 j	3
5	Rechargement base de fondation y compris recherche de carrieres,gerbage transport,mise en place,arrosage malaxage et compactage	20 j	4
6	Deblais mis en remblais en terrain ordinaire	20 j	3
7	Deblais en terrain ordinaire mis en dépôt	24 j	6
8	Apport des materiaux y compris densification par couche au buldozer après mise en place	100 j	6
9	Traitement et réglage des talus à la niveleuse	10 j	4
10	Impregnation au cut back ,y compris nettoyage souflage avant la pose	70 j	9

Tâches	Nom de la tâche	Durée	Prédécesseur totale
11	Revetement en enrobe a chaud	20 j	9
12	Excavation fouille en puit ou en tranché à l'engin mécanique en terrain ordinaire	80 j	11
13	Excavation manuelle pour longrines	40 j	11
14	Confection et mise en ouvre de gros beton dosé de ciment	20 j	13
15	Coffrage pour longrines	160 j	14
16	Cloture en panneaux métalliques de 3m avec panneaux en cornieres	80 j	22
17	Portail métallique 3mx6m, avec 02 poteaux en tube métallique	80 j	14
18	Porte piéton, métallique 2,5m x 1,2m.	40 j	13
19	Fourniture et pose de Cloture en zimerman simple	120 j	18
20	Porte piéton, métallique 2,5m x 1,2m.	30 j	18
21	Fourniture et application d'une couche anti-rouille et deux couches de peinture	10 j	20
22	Fourniture et pose de Cloture en fil barbele fixé et soudé	30 j	20
23	Fourniture et pose de Cloture en zimerman simple	70 j	22
24	Coffrage pour massifs support équipement et tuyauterie	20 j	22
25	Excavation fouille en puit ou en tranché à l'engin mécanique en terrain ordinaire	5 j	24
26	Remblaiement des fouilles en puit ou en tranché à l'engin mécanique	10 j	25
27	Transport des terres exedentaire à la decharge	45 j	26
28	Coffrage pour bassin regards et caniveaux	20 j	25
29	Fourniture et pose Conduite d'evacuation en PVC	40 j	28
30	Fourniture et pose d'un lit de sable d'apport d'epaisseur 45CM	27 j	24
31	Fourniture et pose des couches drainage en pieres sèches autour du puit	10 j	26
32	Fourniture et pose des couches drainage en graviers	35 j	31
33	Fourniture et pose de dalletes en béton	25 j	31
34	Badigeonnage au flint cut en 02 couches	20 j	33
35	application d'une couche antirouille	5 j	33

Tâches	Nom de la tâche	Durée	Prédécesseur totale
36	Manutention transfère et stockage	20 j	35
37	Reprofilage et réglage à l'aide d'une niveleuse	25 j	35
38	Fourniture et mise en place de plaque de signalisation métallique	40 j	28
39	Fourniture et mise en place de panneaux indicateurs 2 faces 100 cm x 80	4 j	37,36,34,32,27,38,29 30,23,16,21,19,15 17,12,10,5,8,7

TABLE 4.1 : liste des taches

Variables de décision

t_i $i \in T$ tel que $T = \{0, 1, 2, \dots, 40\}$, les taches 0 ($i=0$) et 40 ($i=40$) sont des taches fictives modélisant respectivement le début et la fin du projet

Contrainte

Il existe un seule types de contraintes :

- Contrainte de succession.

Contrainte de succesion

$$\left\{ \begin{array}{l} t_2 - t_1 \geq 10 \\ t_3 - t_1 \geq 10 \\ t_4 - t_3 \geq 15 \\ t_5 - t_4 \geq 15 \\ t_6 - t_3 \geq 15 \\ t_7 - t_6 \geq 20 \\ t_8 - t_6 \geq 20 \\ t_9 - t_4 \geq 15 \\ t_{10} - t_9 \geq 10 \\ t_{11} - t_9 \geq 10 \\ t_{12} - t_{11} \geq 20 \\ t_{13} - t_{11} \geq 20 \\ t_{14} - t_{13} \geq 40 \\ t_{15} - t_{14} \geq 20 \\ t_{16} - t_{22} \geq 30 \\ t_{17} - t_{14} \geq 20 \\ t_{18} - t_{13} \geq 40 \\ t_{19} - t_{18} \geq 40 \\ t_{20} - t_{18} \geq 40 \\ t_{21} - t_{20} \geq 30 \\ t_{22} - t_{20} \geq 30 \\ t_{23} - t_{22} \geq 30 \\ t_{24} - t_{22} \geq 30 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l}
 t_{25} - t_{24} \geq 20 \\
 t_{26} - t_{25} \geq 5 \\
 t_{27} - t_{26} \geq 10 \\
 t_{28} - t_{25} \geq 5 \\
 t_{29} - t_{28} \geq 20 \\
 t_{30} - t_{24} \geq 20 \\
 t_{31} - t_{26} \geq 10 \\
 t_{32} - t_{31} \geq 10 \\
 t_{33} - t_{31} \geq 10 \\
 t_{34} - t_{33} \geq 25 \\
 t_{35} - t_{33} \geq 25 \\
 t_{36} - t_{35} \geq 5 \\
 t_{37} - t_{35} \geq 5 \\
 t_{38} - t_{28} \geq 20 \\
 t_{39} - t_{37} \geq 25 \\
 t_{39} - t_{19} \geq 25 \\
 t_{39} - t_{20} \geq 40 \\
 t_{39} - t_{37} \geq 25 \\
 t_{39} - t_7 \geq 24 \\
 t_{39} - t_8 \geq 100 \\
 t_{39} - t_5 \geq 20 \\
 t_{39} - t_{10} \geq 70 \\
 t_{39} - t_{12} \geq 80 \\
 t_{39} - t_{15} \geq 160 \\
 t_{39} - t_{17} \geq 80 \\
 t_{39} - t_{19} \geq 120 \\
 t_{39} - t_{21} \geq 10 \\
 t_{39} - t_{16} \geq 80 \\
 t_{39} - t_{23} \geq 70 \\
 t_{39} - t_{30} \geq 27 \\
 t_{39} - t_{38} \geq 40 \\
 t_{39} - t_{29} \geq 40 \\
 t_{39} - t_{27} \geq 45 \\
 t_{39} - t_{32} \geq 35 \\
 t_{39} - t_{34} \geq 20 \\
 t_{39} - t_{36} \geq 20
 \end{array} \right.$$

contrainte de non négativité

$$t_i \geq 0 \quad i \in T$$

Fonction objectif

$$\min Z = t_{40} - t_0$$

3. Le modèle mathématique

$$Z(\min) = t_{40} - t_0$$

$$t_2 - t_1 \geq 10$$

$$t_3 - t_1 \geq 10$$

$$t_4 - t_3 \geq 15$$

$$t_5 - t_4 \geq 15$$

$$t_6 - t_3 \geq 15$$

$$t_7 - t_6 \geq 20$$

$$t_8 - t_6 \geq 20$$

$$t_9 - t_4 \geq 15$$

$$t_{10} - t_9 \geq 10$$

$$t_{11} - t_9 \geq 10$$

$$t_{12} - t_{11} \geq 20$$

$$t_{13} - t_{11} \geq 20$$

$$t_{14} - t_{13} \geq 40$$

$$t_{15} - t_{14} \geq 20$$

$$t_{16} - t_{22} \geq 30$$

$$t_{17} - t_{14} \geq 20$$

$$t_{18} - t_{13} \geq 40$$

$$t_{19} - t_{18} \geq 40$$

$$t_{20} - t_{18} \geq 40$$

$$t_{21} - t_{20} \geq 30$$

$$t_{22} - t_{20} \geq 30$$

$$t_{23} - t_{22} \geq 30$$

$$t_{24} - t_{22} \geq 30$$

$$t_{25} - t_{24} \geq 20$$

$$t_{26} - t_{25} \geq 5$$

$$t_{27} - t_{26} \geq 10$$

$$t_{28} - t_{25} \geq 5$$

$$t_{29} - t_{28} \geq 20$$

$$t_{30} - t_{24} \geq 20$$

$$t_{31} - t_{26} \geq 10$$

$$t_{32} - t_{31} \geq 10$$

$$t_{33} - t_{31} \geq 10$$

$$t_{34} - t_{33} \geq 25$$

$$t_{35} - t_{33} \geq 25$$

$$t_{36} - t_{35} \geq 5$$

$$t_{37} - t_{35} \geq 5$$

$$t_{38} - t_{28} \geq 20$$

$$t_{39} - t_{37} \geq 25$$

$$t_{39} - t_{19} \geq 25$$

$$t_{39} - t_{20} \geq 40$$

$$t_{39} - t_{37} \geq 25$$

$$t_{39} - t_7 \geq 24$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{39} - t_8 \geq 100 \\ t_{39} - t_5 \geq 20 \\ t_{39} - t_{10} \geq 70 \\ t_{39} - t_{12} \geq 80 \\ t_{39} - t_{15} \geq 160 \\ t_{39} - t_{17} \geq 80 \\ t_{39} - t_{19} \geq 120 \\ t_{39} - t_{21} \geq 10 \\ t_{39} - t_{16} \geq 80 \\ t_{39} - t_{23} \geq 70 \\ t_{39} - t_{30} \geq 27 \\ t_{39} - t_{38} \geq 40 \\ t_{39} - t_{29} \geq 40 \\ t_{39} - t_{27} \geq 45 \\ t_{39} - t_{32} \geq 35 \\ t_{39} - t_{34} \geq 20 \\ t_{39} - t_{36} \geq 20 \\ t_{40} - t_{39} \geq 4 \\ t_{n+1} - t_0 \leq 365 \\ t_i \leq 0 \quad i \in T \end{array} \right.$$

4. Résolution par le logiciel LINGO

Les problèmes d'optimisation peuvent être classés en linéaire ou non linéaire selon la relation entre les variables. Lingo est un outil qui permet de résoudre un problème d'optimisation qu'il soit linéaire ou non linéaire et de l'analyser. En entrée ce solveur doit recevoir un modèle mathématique.

Il possède quatre solveurs qu'il utilise afin de résoudre les différents types de modèle :

- Solveur direct
- Solveur linéaire
- Solveur non linéaire
- Méthode de type séparation et évaluation

Le modèle mathématique reçu par lingo doit respecter le langage de modélisation associé à lingo. Les données passées au solveur peuvent se faire soit d'une manière directe, soit à travers des fichiers intermédiaires.

Durant la résolution d'un modèle, lingo commence par utiliser son solveur direct qui détermine les valeurs des différentes variables du solveur tant que c'est possible. Si le solveur direct trouve une contrainte d'égalité avec une variable indéterminée, il décide une valeur à cette variable qui vérifie la contrainte. En revanche s'il y a plusieurs variables indéterminées ou s'il n'y a plus de contrainte d'égalité avec une variable indéterminée, il s'arrête.

Une fois le solveur direct a terminé en déterminant le contenu de toutes les variables, il affiche un rapport à propos de la solution .s'il en reste des variables indéterminées, lingo détermine quels solveurs faut-il utiliser en examinant la structure du modèle à résoudre et son contenu mathématique.

Pour un modèle linéaire continu, lingo appelle le solveur linéaire, si le modèle contient une ou plusieurs contraintes non linéaires, le solveur non linéaire est appelé. Dans le cas où le modèle contiendrait des restrictions entière, un algorithme de type séparation et évaluation est invoqué pour les renforcer et la main est rendue ensuite au solveur linéaire ou non linéaire selon la nature du modèle généré.

Le solveur linéaire utilise la méthode du simplexe révisé avec une forme produite inverse. Le solveur non linéaire utilise les algorithmes de programmation linéaire successive et les algorithmes du gradient généralisé réduit. Les modelés entiers sont résolus en utilisant un algorithme de type séparation et évaluation, pour les modèle linéaires lingo fait un prétraitement considérable, en effet il ajoute des contraintes de découpe pour restreindre la région non entière réalisable. Ces découpes augmentent considérablement le temps de résolution de la plupart des modèles de programmation entière

Un modèle d'optimisation se compose de trois parties :

- **Fonction objectif** : il s'agit de formule unique qui décrit exactement ce que le modèle devrait optimiser.
- **Contraintes** : ce sont des formules qui définissent les limites sur les valeurs des variables.
- **les commentaires** dans le modèle, ils sont engagés avec un point d'exclamation (!) et apparaissent en vert

Le programme s'écrit dans l'interface Lingo 13.0 de la façon montré ci-dessus :

```
Lingo 13.0 - [Lingo Model - Lingo2]
File Edit LINGO Window Help
min=t40-t0: !La fonction objectif;
! Les contraintes;
t2 - t1 >= 10;
t3 - t1 >= 10;
t4 - t3 >= 15;
t5 - t4 >= 15;
t6 - t3 >= 15;
t7 - t6 >= 20;
t8 - t6 >= 20;
t9 - t4 >= 15;
t10 - t9 >= 10;
t11 - t9 >= 10;
t12 - t11 >= 20;
t13 - t11 >= 20;
t14 - t13 >= 40;
t15 - t14 >= 20;
t16 - t22 >= 80;
t17 - t14 >= 20;
t18 - t13 >= 40;
t19 - t18 >= 40;
t20 - t18 >= 40;
t21 - t20 >= 30;
t22 - t20 >= 30;
t23 - t22 >= 30;
t24 - t22 >= 30;
t25 - t24 >= 20;
t26 - t25 >= 5;
t27 - t26 >= 10;
t28 - t25 >= 5;
t29 - t28 >= 20;
t30 - t24 >= 20;
t31 - t26 >= 10;
t32 - t31 >= 10;
t33 - t31 >= 10;
t34 - t33 >= 25;
t35 - t33 >= 25;
t36 - t35 >= 5;
t37 - t35 >= 5;
t38 - t38 >= 40.
For Help, press F1 NUM MOD Ln 3, Col 1 5:15 am
```

FIGURE 4.1 : Interface LINGO 13.0

En cliquant sur le bouton SOLVE la fenêtre suivante apparaît avec tous les résultats nécessaires (valeurs des variables , valeur optimale , méthode utilisée)

The screenshot shows the Lingo 13.0 interface. The main window displays a solution report with the following summary:

```

Global optimal solution found.
Objective value:           314.0000
Objective bound:          314.0000
Infeasibilities:         0.000000
Extended solver steps:    0
Total solver iterations:  0

Model Class:              MILP

Total variables:          41
Nonlinear variables:      0
Integer variables:        1

Total constraints:        42
Nonlinear constraints:    0

Total nonzeros:          83
Nonlinear nonzeros:      0
    
```

Below the summary is a table of variable values and reduced costs:

Variable	Value	Reduced Cost
T40	315.0000	0.000000
T0	1.000000	0.000000
T1	1.000000	0.000000
T2	11.00000	0.000000
T3	11.00000	0.000000
T4	26.00000	0.000000
T5	41.00000	0.000000
T6	26.00000	0.000000
T7	46.00000	0.000000
T8	46.00000	0.000000
T9	41.00000	0.000000
T10	51.00000	0.000000
T11	51.00000	0.000000
T12	71.00000	0.000000
T13	71.00000	0.000000
T14	111.0000	0.000000
T15	131.0000	0.000000
T16	261.0000	0.000000
T22	181.0000	0.000000

Overlaid on the right is the 'Lingo 13.0 Solver Status [Lingo2]' dialog box, which provides more details:

- Solver Status:** Model Class: MILP, State: Global Opt, Objective: 314, Infeasibility: 0, Iterations: 0.
- Variables:** Total: 41, Nonlinear: 0, Integers: 1.
- Constraints:** Total: 42, Nonlinear: 0.
- Nonzeros:** Total: 83, Nonlinear: 0.
- Extended Solver Status:** Solver Type: B-and-B, Best Obj: 314, Obj Bound: 314, Steps: 0, Active: 0.
- Generator Memory Used (K):** 30.
- Elapsed Runtime (hh:mm:ss):** 00:00:00.

Lingo a utilisé la méthode Branch-and-Bound pour résoudre notre modèle, et la solution donnée est la suivante :

$X=(1;1;11;11;26;41;26;46;46;41;51;51;71;71;111;131;261;131;111;151;151;181;181;211;231;236;246;236;256;231;246;256;256;281;281;286;286;276;311;315)$

$$Z^*=314$$

5. Modélisation graphique

Dans cette partie nous allons aborder les techniques de représentation graphique d'un problème d'ordonnancement.

Il existe deux méthodes classiques :

1. Méthode PERT (Performance Evaluation Review Technique)
2. Méthode MPM (Méthode des Potentiels Métra).

5.1. Modélisation par un graphe potentiel-tâches (M.P.M)

D'après les données de notre problème , on trouve le graphe suivant :

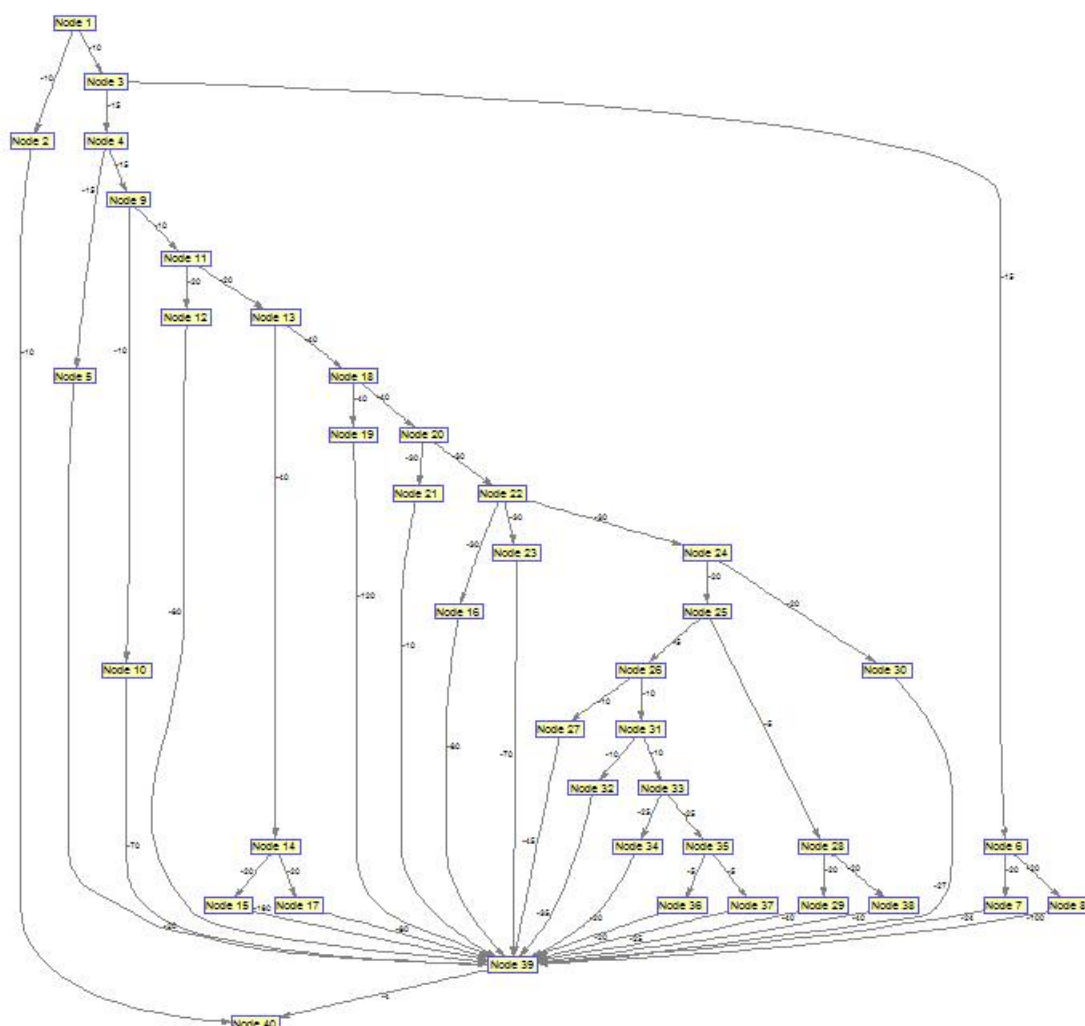


FIGURE 4.2 : Représentation graphique de potentiel-tâches

Après l'utilisation de Matlab et la fonction prédéfinie Bellman-Ford on a trouvé le graphe suivant , le chemin critique est affiché avec la couleur rouge

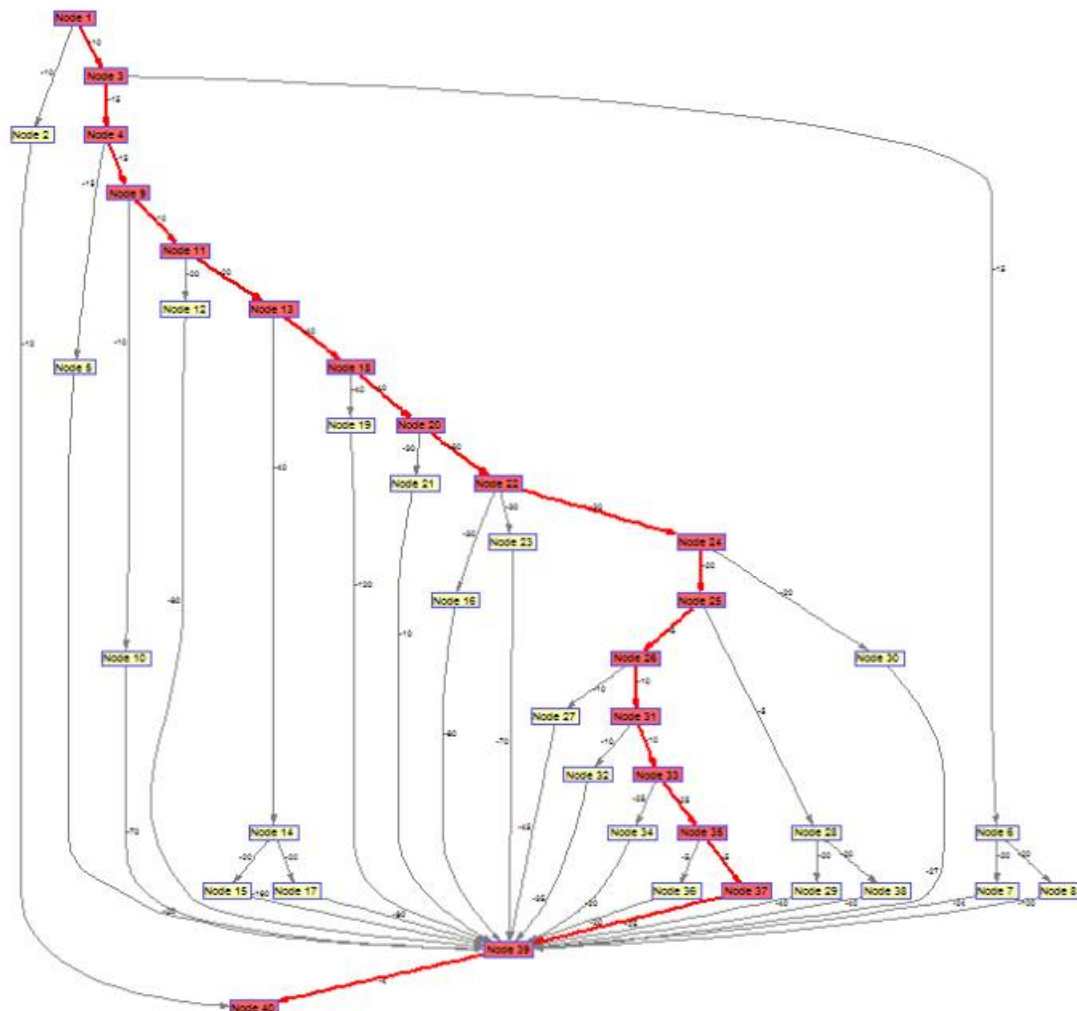


FIGURE 4.3 : Représentation graphique de potentiel-tâches

- Le chemin critique est : 1 → 3 → 4 → 9 → 11 → 13 → 18 → 20 → 22 → 24 → 25 → 26 → 31 → 33 → 35 → 37 → 39

5.2. Modélisation par un graphe PERT : graphe potentiel-étapes :

Dans un graphe PERT, on associe un graphe $G = (X, U)$ au problème d'ordonnancement. Les tâches sont présentées par des arcs dans un réseau. Les extrémités de ces arcs sont des événements (étapes) qui réalisent soit le début soit la fin d'une opération donnée. Les arcs, soient des tâches réelles, soient des tâches fictives.

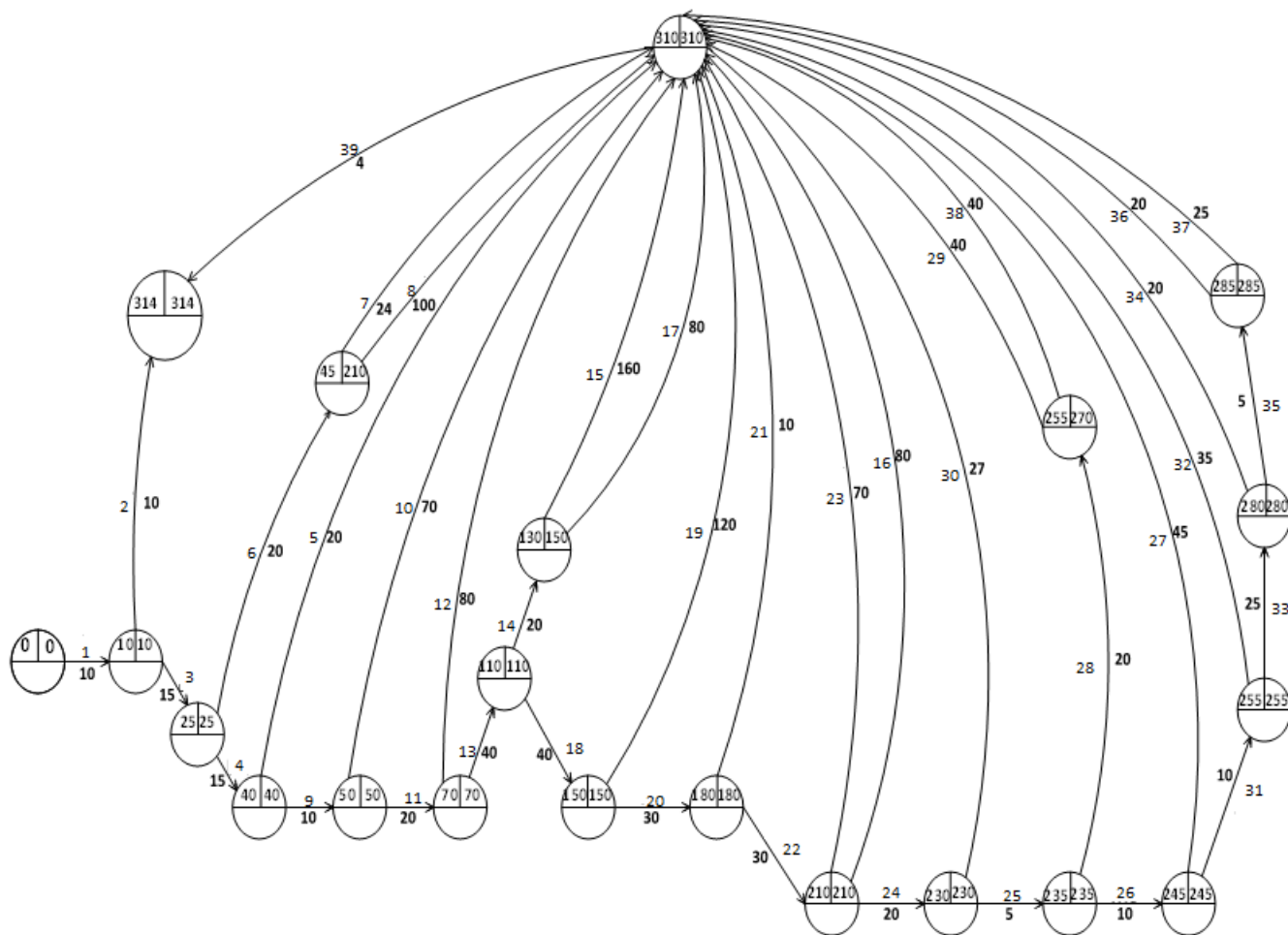


FIGURE 4.4 : Représentation graphique de potentiel-étape

- Le chemin critique est : 1 → 3 → 4 → 9 → 11 → 13 → 18 → 20 → 22 → 24 → 25 → 26 → 31 → 33 → 35 → 37 → 39

Détermination des dates et marge

Tâches	Durée	ti	Ti	t _{fi}	T _{fi}	MT _i	ML _i	MC _i
1	10	0	0	10	10	0	0	0
2	10	10	304	20	314	294	294	294
3	15	10	10	25	25	0	0	0
4	15	25	25	40	40	0	0	0
5	20	40	290	60	310	250	250	250
6	20	25	190	45	210	165	0	0
7	24	45	286	69	310	241	241	76
8	100	45	210	145	310	165	165	0
9	10	40	40	50	50	0	0	0
10	70	50	240	120	310	190	190	190
11	20	50	50	70	70	0	0	0
12	80	70	230	150	310	160	160	160
13	40	70	70	110	110	0	0	0
14	20	110	130	130	150	20	0	0
15	160	130	150	290	310	20	20	0
16	80	210	230	290	310	20	20	20
17	80	130	230	210	310	100	100	80
18	40	110	110	150	150	0	0	0
19	120	150	190	270	310	40	40	40
20	30	150	150	180	180	0	0	0
21	10	180	300	190	310	120	120	130
22	30	180	180	210	210	0	0	0
23	70	210	240	280	310	30	30	30
24	20	210	210	230	230	0	0	0
25	5	230	230	235	235	0	0	0
26	10	235	235	245	245	0	0	0
27	45	245	265	290	310	20	20	20
28	20	235	250	255	270	15	0	0
29	40	255	270	295	310	15	15	0
30	27	230	283	257	310	53	53	53
31	10	245	245	255	255	0	0	0
32	35	255	275	290	310	20	20	20
33	25	255	255	280	280	0	0	0
34	20	280	290	300	310	10	10	10
35	5	280	280	285	285	0	0	0
36	20	285	290	305	310	5	5	5
37	25	285	285	310	310	0	0	0
38	40	255	270	195	310	15	15	0
39	4	310	310	314	314	0	0	0

TABLE 4.2 : les dates et marges

6. Logiciel Primavera P6

Lors de la réalisation de cette étude, nous avons été amenés à étudier et exploiter un logiciel dans le but de mettre en œuvre la méthodologie de résolution exposée dans le chapitre précédent. Le logiciel utilisé Primavera Project Planner (P6)

Notre application décrit comment construire des projets avec les éléments de base de P6 tels que les activités, les liens et les présentations. La création des projets, l'ajout d'activités et de liens sont représentés par le diagramme de GANTT et le diagramme PERT. Une fois le projet est créé, l'étape suivante est de calculer le diagramme PERT, de l'ajuster et de l'affiner par la création d'une structure de codification WBS, de calendrier de ressources et d'activités.

Avant de procéder à la présentation de l'application, une description de l'environnement de programmation utilisé s'avère nécessaire, nous en donnant un bref aperçu, puis nous présentons les différentes interfaces de notre application.

7. Présentation de logiciel

PRIMAVERA Professional est un logiciel de planification et de contrôle multiprojet complet qui intègre la gestion de projet traditionnelle à la gestion rationalisée des coûts et des ressources.,il peut être utilisé de manière autonome pour la gestion des projets et des ressources et permet à l'entreprise de stocker et de gérer ses projets à partir d'un emplacement centralisé. Le module prend en charge les structures WBS, les structures OBS, les champs et les codes définis par l'utilisateur, la planification selon la méthode du chemin critique (CPM) et le lissage des ressources.

Il fournit un ensemble de fonctionnalités robustes dont l'objectif premier est de répondre aux besoins des planificateurs et des programmeurs de projet.

Les fonctionnalités de P6 Professional comprennent les éléments suivants :

- La prise en charge des structures WBS (Work Breakdown Structures), des champs et des codes définis par l'utilisateur, de la planification par la méthode du chemin critique (CPM) et du lissage des ressources.
- Plusieurs utilisateurs peuvent accéder simultanément aux mêmes projets.
- Une fonctionnalité de suivi permettant un calcul dynamique inter-projets du coût, du planning et de la valeur acquise.
- Des produits et documents pouvant être affectés à des tâches et gérés de manière centralisée.

- permet de créer des rapports à caractère temporel de diagramme de GANTT et PERT
- L'administration des ressources et des rôles
- Le suivi des alertes

P6 Professional permet de budgéter, hiérarchiser, planifier, administrer et gérer plusieurs projets, d'optimiser des ressources partagées limitées, de contrôler les modifications et de mener à bien des projets en respectant délais et budgets.

8. Pourquoi utiliser primavera project management ?

Les grandes entreprises ont généralement des centaines, voire des milliers de projets en cours en même temps pour créer les produits et services à l'aide desquels elles construisent leur avenir. Ces projets traversent les hiérarchies et chaînes de commande normales de l'entreprise. C'est pourquoi la gestion de projet représente un défi pour l'ensemble de l'organisation. La pression pour rester compétitif et terminer les projets à temps, tout en respectant le budget, incite les sociétés à développer et implémenter un processus de gestion de projet. Elles passent d'une structure fonctionnelle traditionnelle à une organisation multiprojet qui doit atteindre des objectifs clairs, souvent urgents, à l'aide de ressources limitées et partagées. Elles ont besoin que ces projets soient rentables le plus rapidement possible afin de réaliser les revenus potentiels et d'augmenter leurs capitaux propres.

Primavera fournit des informations complètes sur tous les projets d'une organisation, des résumés au niveau de la direction aux plans détaillés par projet. A tous les niveaux de la société, des individus peuvent analyser, enregistrer et communiquer des informations fiables et prendre au moment opportun et en connaissance de cause les décisions sur lesquelles s'appuie la mission de leur entreprise.

9. Elaboration d'un projet sous Primavera

Il est important à ce niveau de montrer le mode d'utilisation ainsi que quelque fonctionnalité du logiciel. Pour cela, nous allons présenter quelques fiches composant notre logiciel

9.1. Comment démarrer Primavera ?

Pour démarrer P6 double-clique sur l'icône Primavera Project Planner.

Lors du lancement du logiciel, une fenêtre d'identification s'affiche, on trouve sur cette dernière tous les boutons et outils permettant le déroulement du processus de résolution et de la manipulation du logiciel.

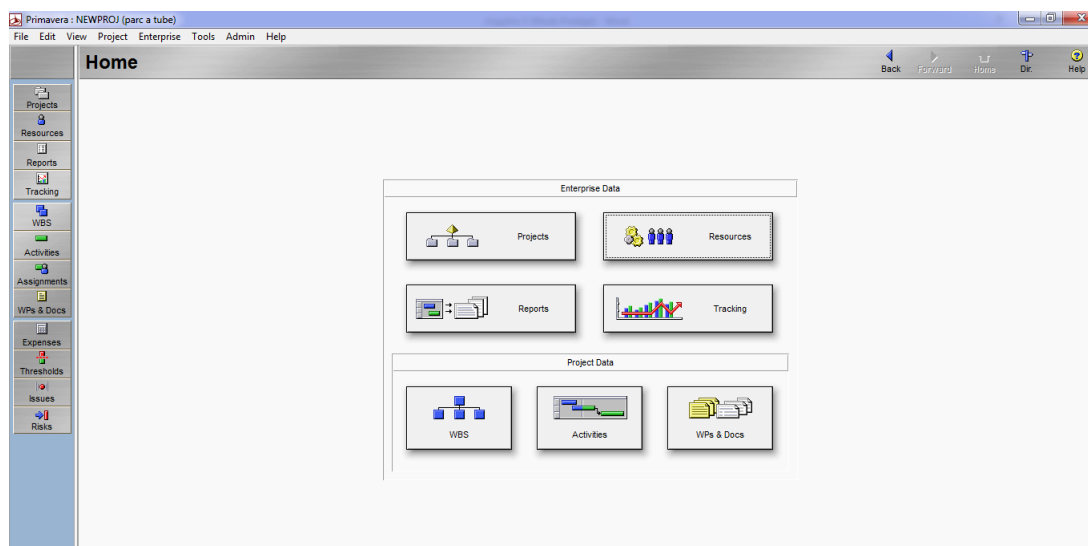


FIGURE 4.5 : Interface de primavera project management

Les fenêtres suivantes affichent des données relatives à l'entreprise (globales). On peut ouvrir chacune de ces fenêtres à partir de la barre d'outils Entreprise ou du menu Entreprise

- **Fenêtre Projets** Permet de vérifier de manière globale la structure de projets de l'entreprise .
- **Fenêtre Ressources** Permet d'ajouter ou de modifier les ressources de l'organisation.
- **Fenêtre Reports** Permet de produire des rapports pour tous les projets.
- **Fenêtre Tracking** Permet d'afficher et de créer des présentations de suivi pour le projet.

Les fenêtres suivantes affichent des données au niveau du projet, on peut ouvrir chacune de ces fenêtres à partir de la barre d'outils Projet ou du menu Projet.

- **Fenêtre Structure WBS** permet d'ajouter ou de modifier la structure WBS (Work Breakdown Structure) du projet ouvert.
- **Fenêtre Activities** permet de travailler avec des tâches dans le projet ouvert.
- **Fenêtre Wps and Documents** permet de créer et d'affecter des produits et documents dans le projet ouvert.
- **Fenêtre Resource Assignments** permet de consulter, d'ajouter et de supprimer des

ressources affectées à des tâches.

- **Project Expenses** permet de travailler sur les éléments de dépense dans le projet ouvert.
- **Project Thresholds** permet d'ajouter ou de supprimer des seuils dans le projet ouvert.
- **Project Issues** permet d'ajouter ou de supprimer des alertes dans le projet
- **Risks view** permet d'ajouter, de supprimer ou de calculer des risques pour le projet ouvert.

9.2. Création d'un nouveau projet

- Pour ajouter un nouveau projet choisir **File, New**, puis saisir un nom de projet unique dans le champ **Project Name**. la saisie des autres informations comme le titre de projet, le nom de compagnie, la date de début de projet est facultative.

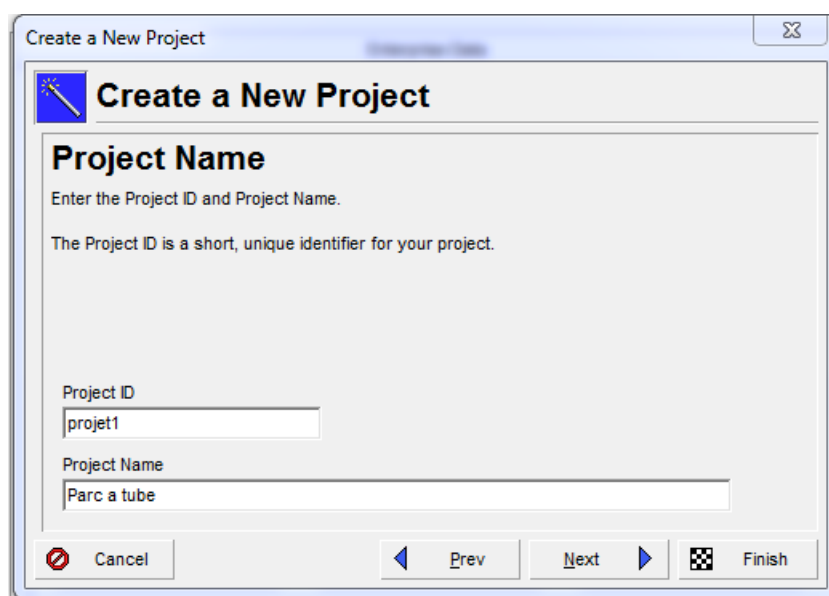


FIGURE 4.6 : Boite de dialogue du logiciel

- Certaines de ces informations pourront être complétées ou modifiées par la suite dans la boîte de dialogue **File, PROJECT OVERVIEW**.

9.3. Description de l'écran d'entrées

A l'ouverture d'un projet, P6 affiche une fenêtre composée de :

- ◇ **Barre d'outils** : la barre d'outils située sous la barre de Menu peut être configurée. vous pouvez choisir de nouvelles icônes parmi les nombreuses icônes différentes, correspondant aux fonctions P6 et Windows les plus utilisées.
- ◇ **Bar Chart (Diagramme de Gantt)** : C'est l'affichage par défaut de P6, celui dans lequel vous saisirez les activités pour créer votre projet.. Ce Bar chart est divisé en deux parties : un ensemble de neuf colonnes qui peuvent être découvertes ou masquées en déplaçant le séparateur vertical, et le Bar chart (diagramme de GANTT)

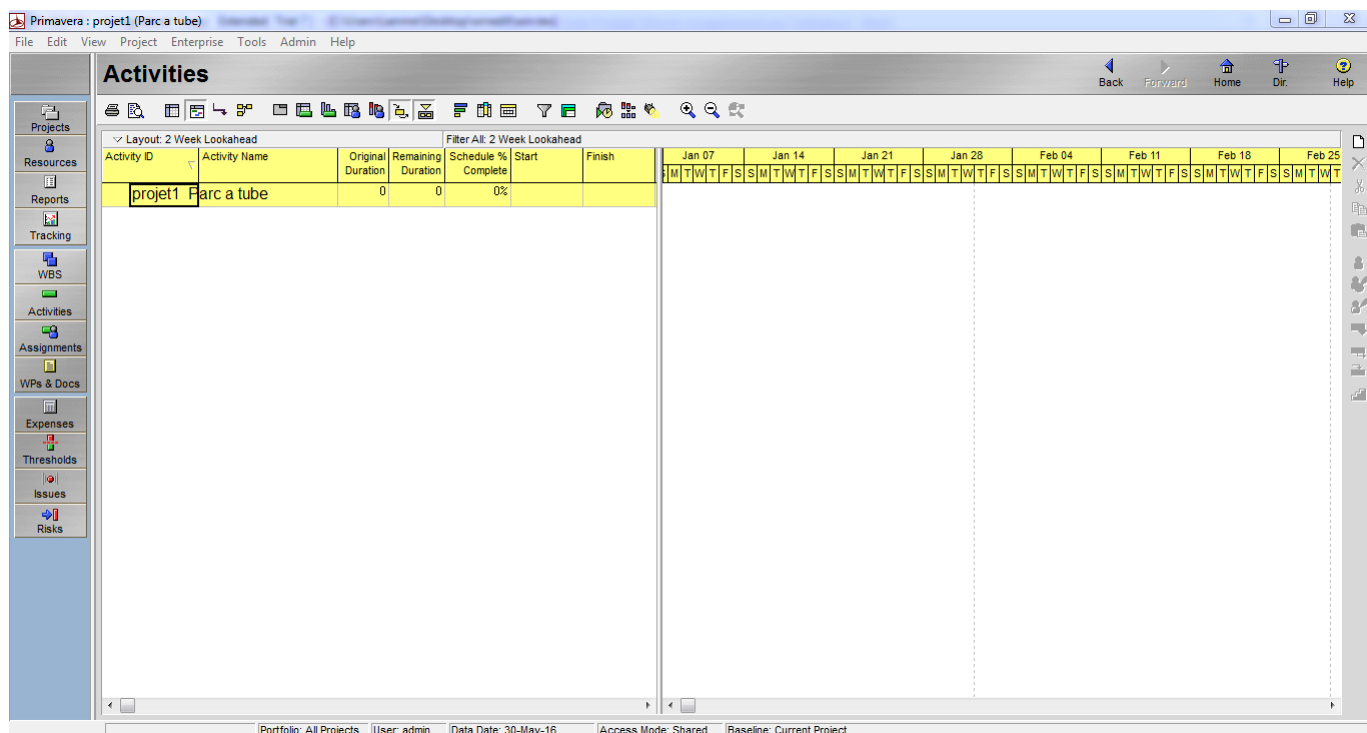


FIGURE 4.7 : Ecran d'entrée de primavera project planner (GANTT CHART).

9.4. Création d'activités

Les tâches constituent les éléments de travail fondamentaux d'un projet. Les tâches correspondent au niveau le plus bas d'une structure WBS (Work Breakdown Structure) et constituent, à ce titre, la plus petite sous-division d'un projet qui concerne directement le chef de projet. Bien qu'une tâche puisse être divisée en étapes, la ressource principale d'une tâche est généralement responsable de la gestion et du suivi de l'avancement des étapes de tâche, tandis que le chef de projet est habituellement chargé de la gestion et du suivi de l'avancement de l'ensemble de la tâche.

On peut définir les informations suivantes pour une tâche :

- ▷ L'ID et le nom de tâche, ce qui vous permet d'identifier et de décrire uniquement la tâche. Les dates de début et de fin.
- ▷ Le type de tâche, de durée et de pourcentage d'avancement utilisés pour spécifier quel calendrier s'applique à une tâche ; si une tâche est un jalon ; comment conserver les valeurs des unités de la tâche, les valeurs de durée et les valeurs unités/temps des ressources synchronisées ; enfin, comment calculer le pourcentage d'avancement de la tâche.
- ▷ Les contraintes sur les dates planifiées de début et de fin de la tâche. Les relations de prédécesseur et de successeur, utilisés pour définir les relations avec d'autres tâches.
- ▷ Ressources

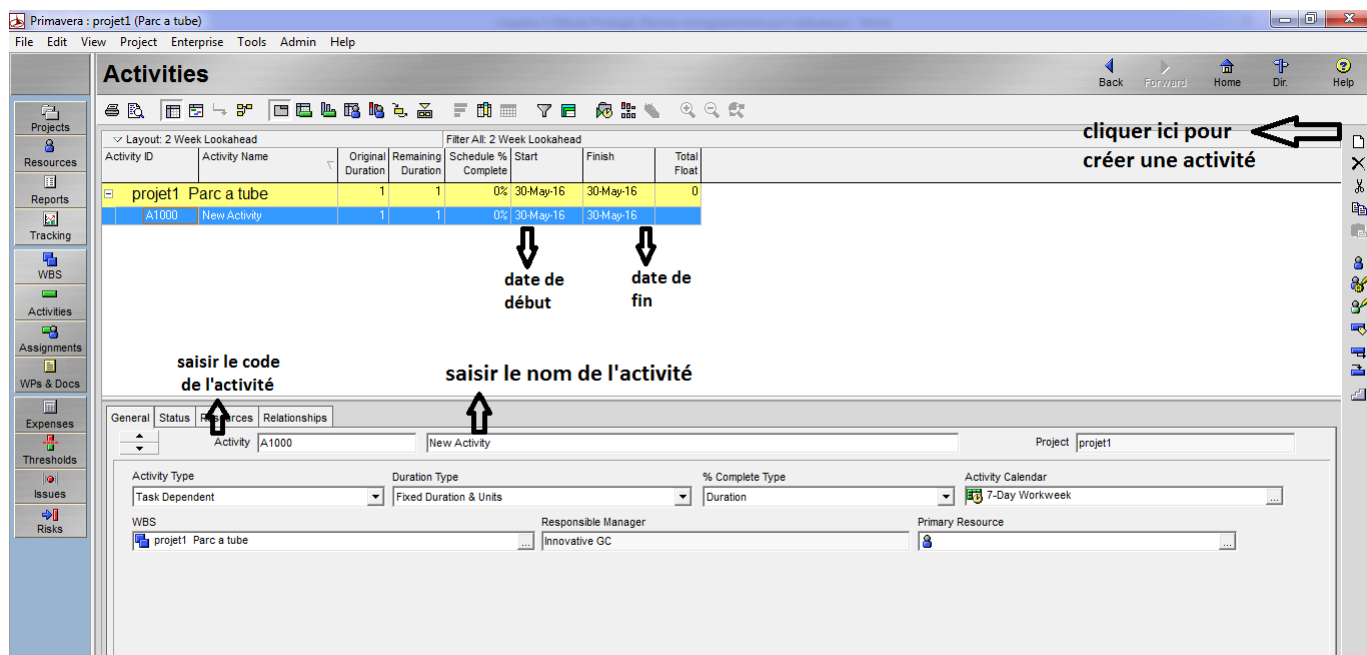


FIGURE 4.8 : Insertion d'activité

Types de tâche

Le type de tâche détermine le mode de calcul de la durée et des dates d'une tâche.

1. **Task dependent activity** :Type d'activité par défaut
2. **Milestone** (tâche jalon de début) et **Flag**(tâche jalon de fin) deux types de jalons représentent le début ou la fin d'un groupe d'activités.
3. Resource dependent activity
4. **WBS summary activity** (La structure hiérarchique des tâches), activité parent sur laquelle les activités ayant un code de même racine seront résumées.

9.5. Création des relations entre les activités

Pour Etablissez les relations de dépendance entre les activités. Il existe 4 types de liens dans P6 :

- **Finish to Start(FS).**
- **Start to Finish(SF).**
- **Finish to Finish.**
- **Start to Start.**

Pour créer un lien entre un ensemble d'activités, cliquer sur **Relationships** pour ouvrir la boîte de dialogue ci-dessus

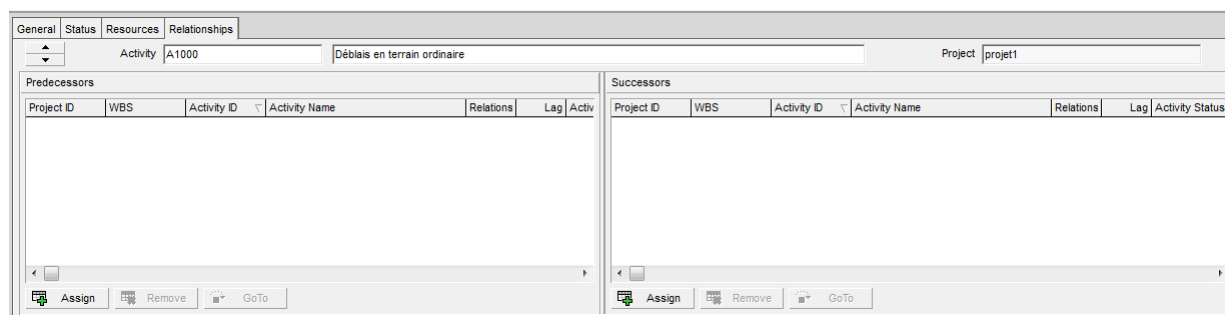


FIGURE 4.9 : Relation entre les activités

Saisissez l'**Activity ID** de l'activité prédécesseur (successeur), le type de relation et le **Lag** (le retard ou chevauchement) dans cette relation. Les liens sont visibles sous forme graphique dans le **GANTT CHART**. Vous pouvez aussi afficher les colonnes **Predecessors** ou **Successors** dans le tableau.

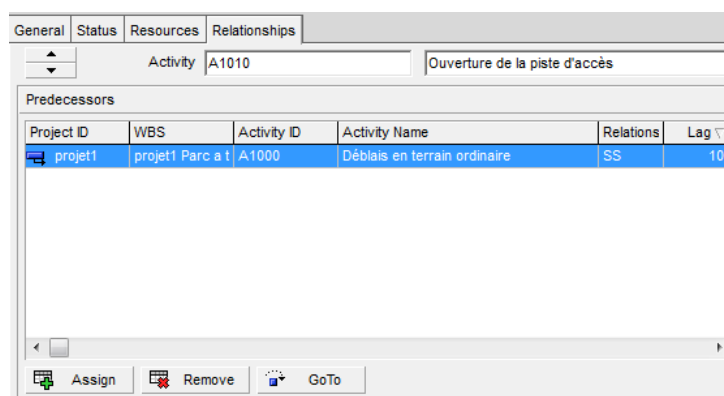


FIGURE 4.10 : Relation entre les activités

9.6. Le chemin critiques

- Au fur et à mesure de la planification des activités du projet ,P6 calcule le **chemin critique** en fonction des activités dont **la Marge Totale** est égale à zéro.
- Pour modifier les critères on clique sur **Filters** , et ont choisi ce qu'on veut afficher ,on définie le Chemin Critique comme le plus long chemin : **Longest path** dans le projet ,dans ce cas, toutes les activités sur ce chemin sont critiques.

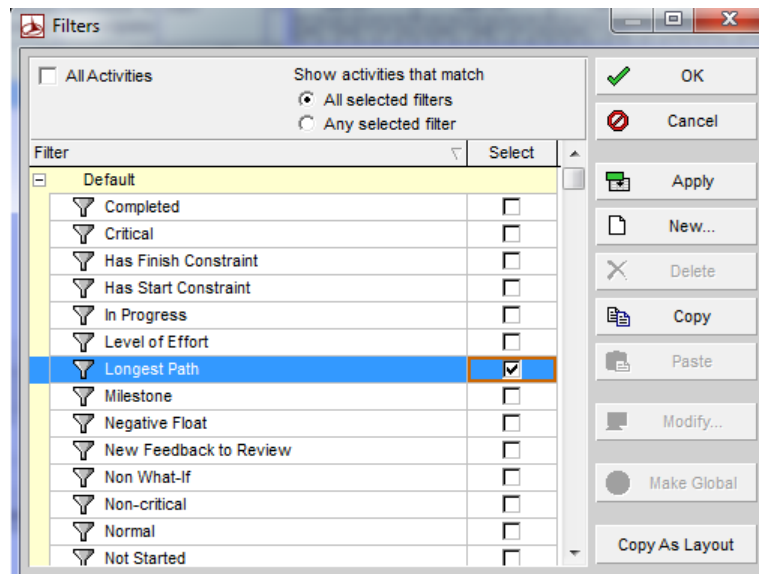


FIGURE 4.11 : Le chemin critique

10. Présentation de l'application

Cette application est destinée à la planification d'un projet : l'aménagement d'un parc a tube dans le but de permettre à la société national génie civil et bâtiment de minimiser la durée ainsi que le coût total du projet tout en satisfaisant toutes les contraintes posées dans le chapitre quatre.

Les résultats de la planification du projet donnés par Primavera sont représentés par les diagrammes suivants :

10.1. Diagramme de GANTT

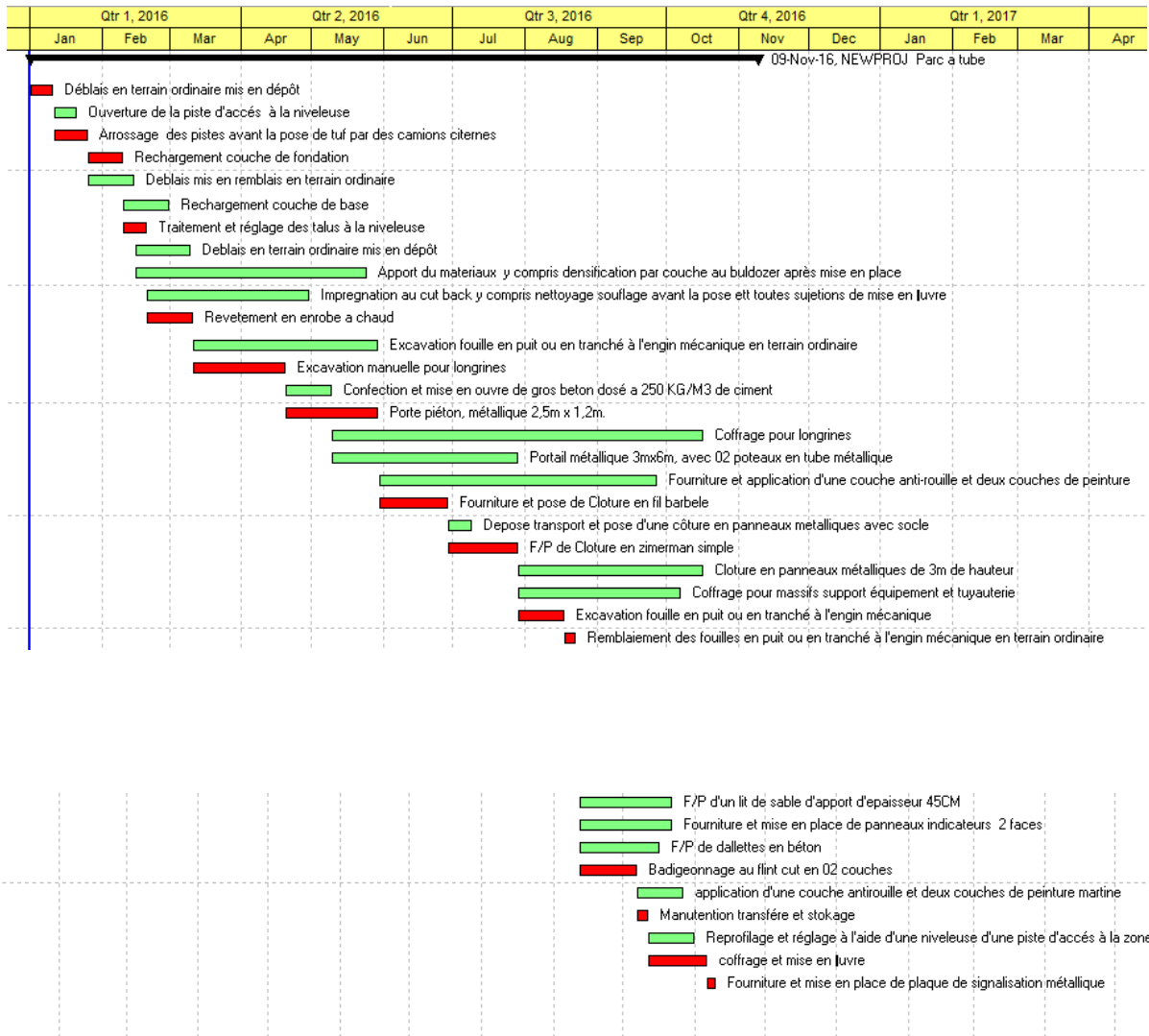


FIGURE 4.12 : Le diagramme de GANTT

A partir du diagramme de GANTT on peut constater la date de début du projet, date de fin et les tâches critiques du projet et ainsi le chemin critique.

Primavera affiche le chemin critique dans le GANTT CHART : les activités critiques sont habituellement affichées en rouge et les activités non critiques en vert.

Date début du projet	01-janvier-16
Date fin du projet	9-novembre-16

Le chemin critique est :

1 → 3 → 4 → 9 → 11 → 13 → 18 → 20 → 22 → 24 → 25 → 26 → 31 → 33 → 35 → 37 → 39

11. Diagramme de GANTT fléché (Relationship)

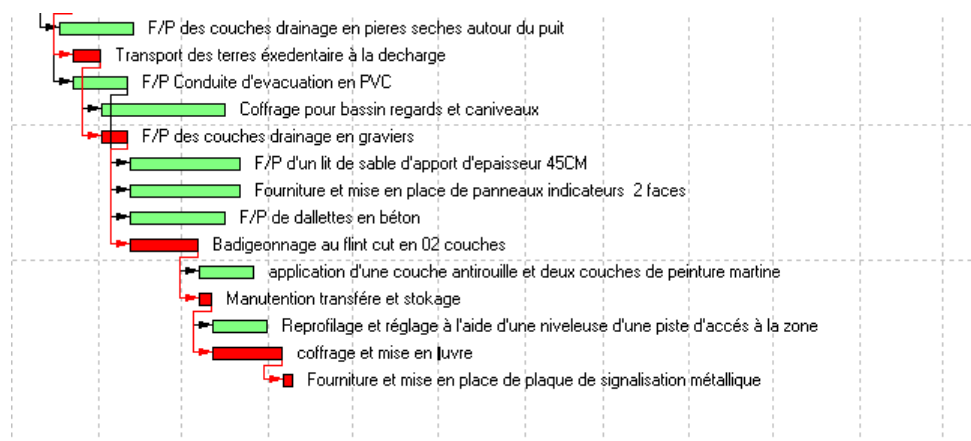
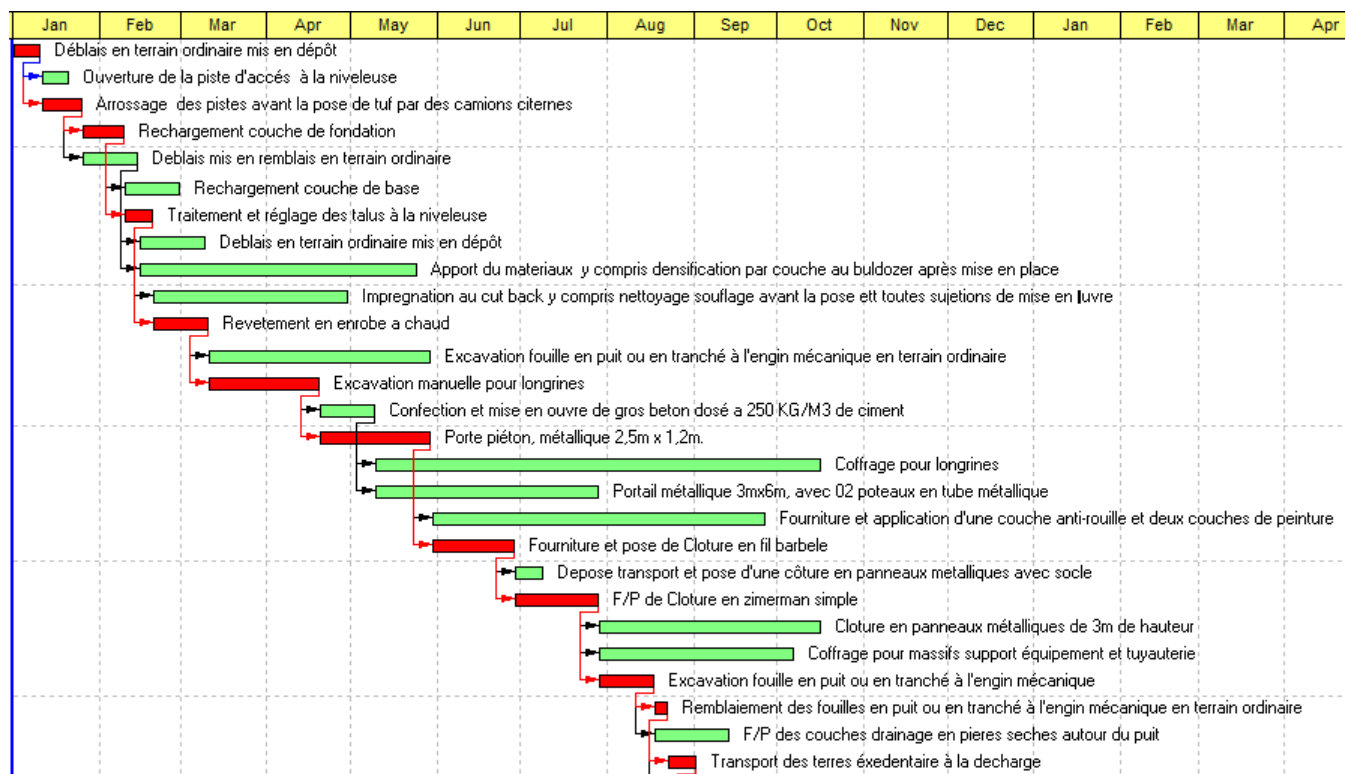


FIGURE 4.13 : Le diagramme de GANTT fléché (Relationship)

12. Diagramme de PERT

L'affichage de PERT permet de contrôler les liens entre tâches et de bien les visualiser.

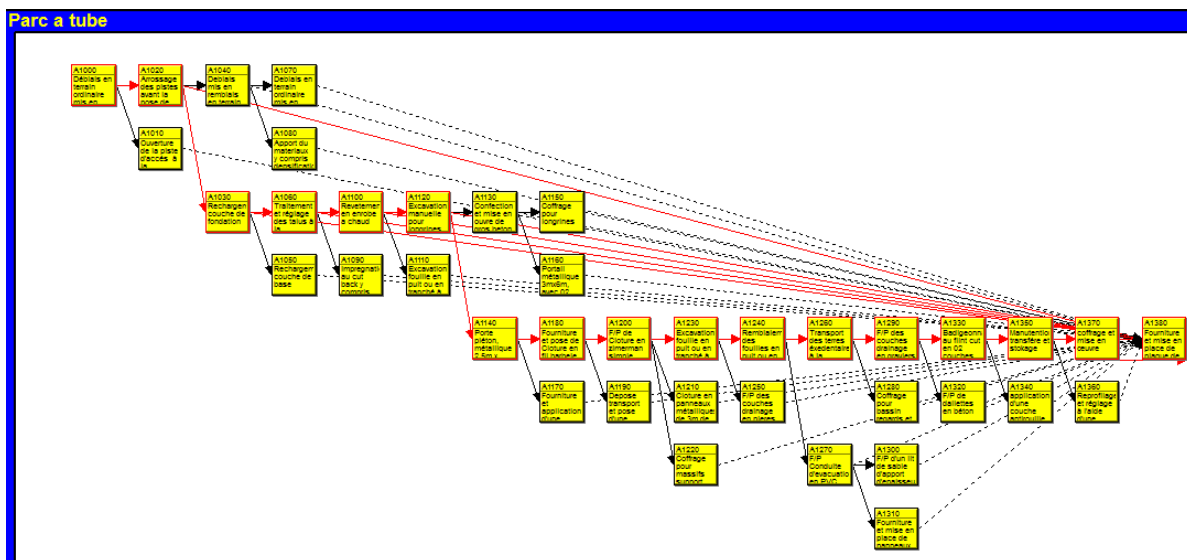


FIGURE 4.14 : Le diagramme de PERT

13. Chemin critique

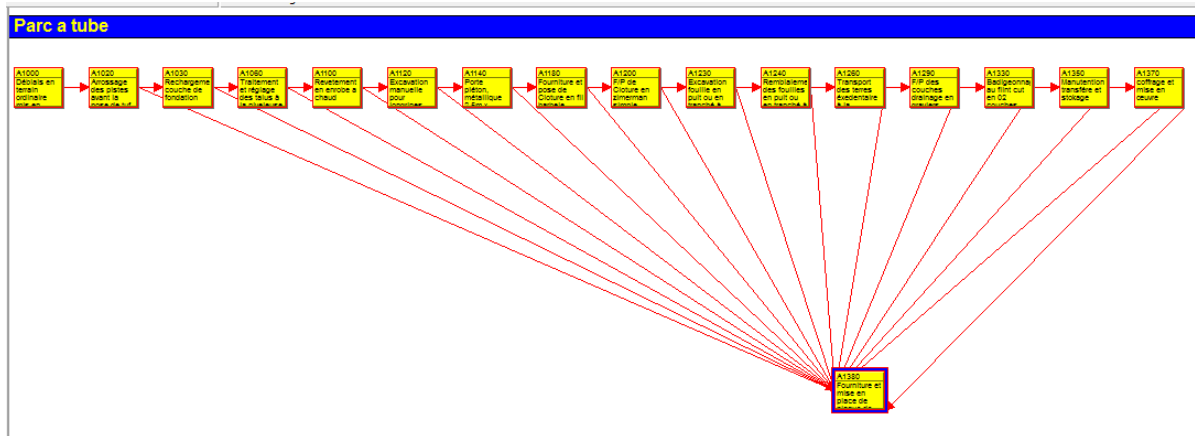


FIGURE 4.15 : Le chemin critique

14. Work Breakdown Structure

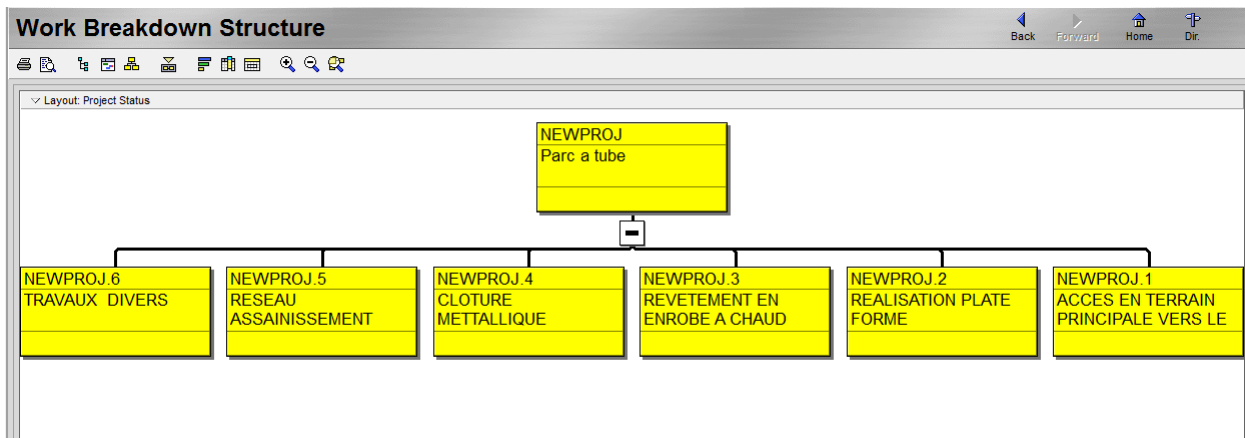


FIGURE 4.16 : Work Breakdown Structure

14.1. Affichage de WBS

NEWPROJ Parc a tube		314	01-Jan-16	09-Nov-16
NEWPROJ.6 Terrassement		60	01-Jan-16	29-Feb-16
A1000	Déblais en terrain ordinaire mis en dépôt	10	01-Jan-16	10-Jan-16
A1010	Ouverture de la piste d'accès à la niveleuse	10	11-Jan-16	20-Jan-16
A1020	Arrossage des pistes avant la pose de tuf par des camions citernes	15	11-Jan-16	25-Jan-16
A1030	Rechargement couche de fondation	15	26-Jan-16	09-Feb-16
A1050	Rechargement couche de base	20	10-Feb-16	29-Feb-16
NEWPROJ.5 REALISATION PLATE FORME		120	26-Jan-16	24-May-16
A1040	Deblais mis en remblais en terrain ordinaire	20	26-Jan-16	14-Feb-16
A1060	Traitement et réglage des talus à la niveleuse	10	10-Feb-16	19-Feb-16
A1070	Deblais en terrain ordinaire mis en dépôt	24	15-Feb-16	09-Mar-16
A1080	Apport du materiaux y compris densification par couche au buldozer après mise en place	100	15-Feb-16	24-May-16
NEWPROJ.4 REVETEMENT EN ENROBE A CHAUD		70	20-Feb-16	29-Apr-16
A1090	Impregnation au cut back y compris nettoyage soullage avant la pose ett toutes sujetions de	70	20-Feb-16	29-Apr-16
A1100	Revetement en enrobe a chaud	20	20-Feb-16	10-Mar-16
NEWPROJ.3 CLOTURE METALLIQUE		220	11-Mar-16	16-Oct-16
A1110	Excavation fouille en puit ou en tranché à l'engin mécanique en terrain ordinaire	80	11-Mar-16	29-May-16
A1120	Excavation manuelle pour longrines	40	11-Mar-16	19-Apr-16
A1130	Confection et mise en ouvre de gros beton dosé a 250 KG/M3 de ciment	20	20-Apr-16	09-May-16
A1140	Porte piéton, métallique 2,5m x 1,2m.	40	20-Apr-16	29-May-16
A1150	Coffrage pour longrines	160	10-May-16	16-Oct-16

NEWPROJ.2 RESEAU ASSAINISSEMENT :		85	29-Jul-16	21-Oct-16
A1230	Excavation fouille en puit ou en tranché à l'engin mécanique	20	29-Jul-16	17-Aug-16
A1240	Remblaiement des fouilles en puit ou en tranché à l'engin mécanique en terrain ordinaire	5	18-Aug-16	22-Aug-16
A1250	F/P des couches drainage en pierres seches autour du puit	27	18-Aug-16	13-Sep-16
A1260	Transport des terres éxudentaire à la decharge	10	23-Aug-16	01-Sep-16
A1270	F/P Conduite d'evacuation en PVC	20	23-Aug-16	11-Sep-16
A1280	Coffrage pour bassin regards et caniveaux	45	02-Sep-16	16-Oct-16
A1290	F/P des couches drainage en graviers	10	02-Sep-16	11-Sep-16
A1300	F/P d'un lit de sable d'apport d'épaisseur 45CM	40	12-Sep-16	21-Oct-16
A1310	Fourniture et mise en place de panneaux indicateurs 2 faces	40	12-Sep-16	21-Oct-16
A1320	F/P de dallettes en béton	35	12-Sep-16	16-Oct-16
A1330	Badigeonnage au flint cut en 02 couches	25	12-Sep-16	06-Oct-16
NEWPROJ.1 TRAVAUX DIVERS		34	07-Oct-16	09-Nov-16
A1340	application d'une couche antirouille et deux couches de peinture martine	20	07-Oct-16	26-Oct-16
A1350	Manutention transfére et stokage	5	07-Oct-16	11-Oct-16
A1360	Reprofilage et réglage à l'aide d'une niveleuse d'une piste d'accès à la zone	20	12-Oct-16	31-Oct-16
A1370	coffrage et mise en luvre	25	12-Oct-16	05-Nov-16
A1380	Fourniture et mise en place de plaque de signalisation métallique	4	06-Nov-16	09-Nov-16

FIGURE 4.17 : Découpage du projet

14.2. Affichage de GANTT sous le découpage en tâche

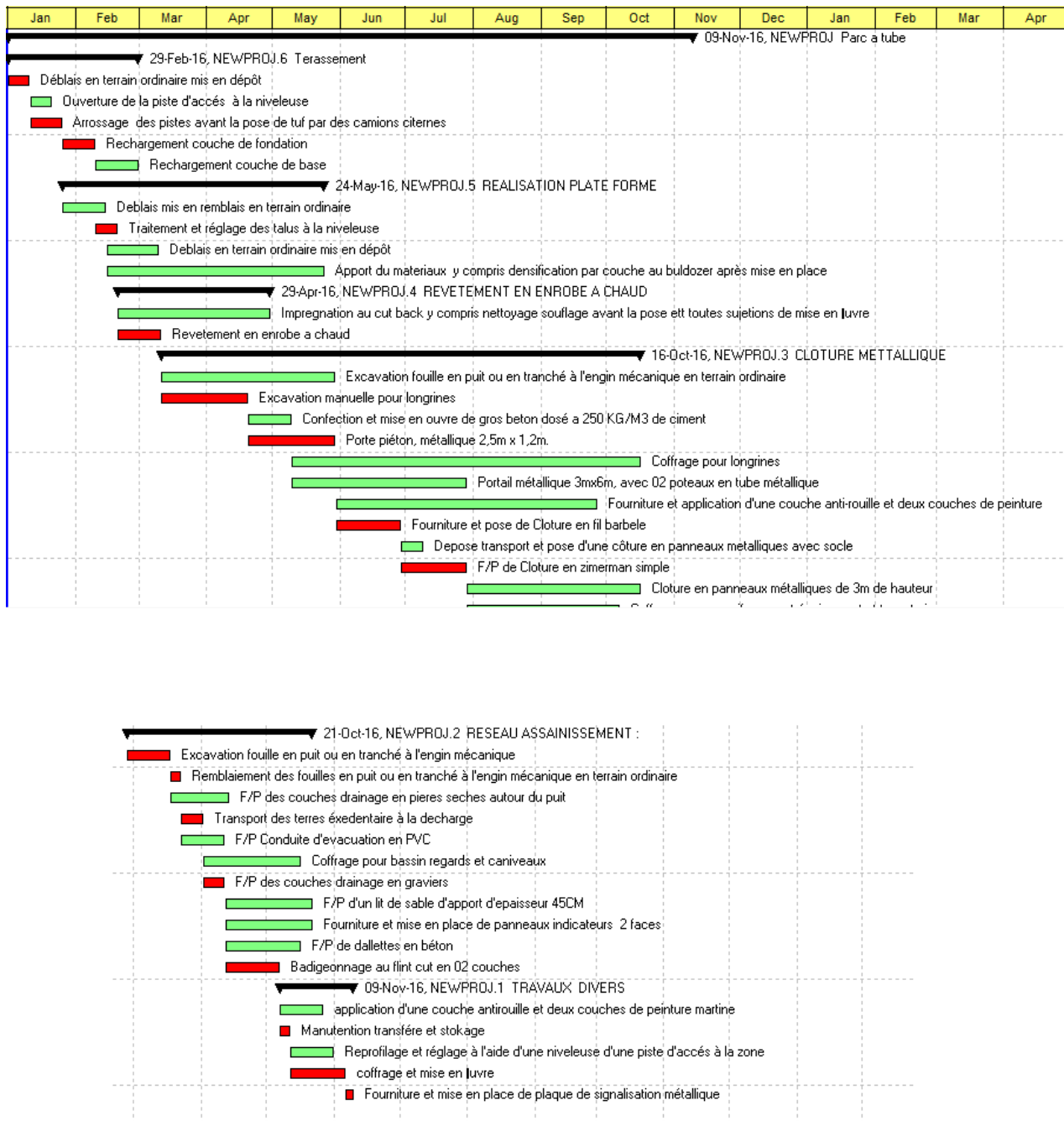


FIGURE 4.18 : GANTT sous le découpage des tâches

15. Affecter des ressources à des tâches

Il existe 02 types de ressource dans P6 :

- Labor (personnel)
- Nonlabor (machine et équipements)

Affecter des ressources aux tâches par rôle facilite l'affectation des ressources pour les tâches, les rôles pouvant être utilisés avec des qualifications spécifiques en lieu et place d'une affectation de ressources

Le tableau suivant montre la liste des tâches, les ressources nécessaires pour chaque activité ainsi que le nombre :

Nom de la tâche	Ressources humaines	Ressources matérielles
Déblais en terrain ordinaire mis en dépôt	-2 conducteur d'engins -1 topographe -1 Responsable de la phase -1 chauffeur -1 gardien de chantier	-2 bulldozer -1 VLTT -1 camion
Ouverture de la piste d'accès à la niveleuse y compris reprofilage surfaçage et réglage	-2 Conducteur d'engins - chef équipe GC -2 manoeuvre ordinaire	-1 Niveleuse -1 bulldozer
Arrosage des pistes avant la pose de tuf par des camions citernes	- 2 conducteurs d'engins	- 2 camions citernes d'arrosage
Rechargement couche de fondation y compris recherche de carrieres,gerbage transport,mise en place,arrosage malaxage et compactage	-2 chauffeur PL -2 conducteurs d'engins -1 manoeuvre	-1 niveleuse - 2 camions benne - 1 malaxeur -1 compacteur
Rechargement base de fondation y compris recherche de carrieres,gerbage transport,mise en place,arrosage malaxage et compactage	-2 chauffeur PL -2 conducteurs d'engins -1 manoeuvre	-1 niveleuse - 2 camions benne - 1 malaxeur -1 compacteur
Deblais mis en remblais en terrain ordinaire	-2 conducteur d'engins	-2 bulldozers
Deblais en terrain ordinaire mis en dépôt	-1 conducteur d'engins -1 chauffeur	-1 bulldozers -1 camion benne
Apport des materiaux y compris densification par couche au buldozer après mise en place	-2 conducteur d'engins -2 chauffeur	-2 bulldozers - 2 camions benne
Traitement et réglage des talus à la niveleuse	-1 conducteur d'engins -2 manoeuvre ordinaire	-1 niveleuse
Impregnation au cut back ,y compris nettoyage souflage avant la pose	-2 manoeuvre ordinaire -2 conducteur d'engins -1 responsable de la phase	-1 pelle hydraulique -1 retrochargeur -1 VLTT
Revetement en enrobe a chaud	-2 conducteur d'engins -chef de station d'enrobé -1 conducteur finisher	-1 poste d'enrobé -2 compacteur -1 finisher
Excavation fouille en puit ou en tranché à l'engin mécanique en terrain ordinaire	-1 manoeuvre -1 conducteur d'engins -1 coffreur	-1 camion

Nom de la tâche	Ressources humaines	Ressources matérielles
Excavation manuelle pour longrines	-2 manoeuvre -2 coffreur -1 maçon	
Confection et mise en oeuvre de gros beton dosé de ciment	-1 opérateur centrale a béton -2 maçon -2 manoeuvre ordinaire	-centrale a béton
Cloture en panneaux métalliques de 3m avec panneaux en cornieres	-1 ferailleur -1 soudeur -1 manoeuvre	-1 poste de soudure
Portail métallique 3mx6m, avec 02 poteaux en tube métallique	-1 ferailleur -1 soudeur -1 manoeuvre	-1 poste de soudure
Porte piéton, métallique 2,5m x 1,2m.	-1 ferailleur -1 soudeur -1 manoeuvre	-1 poste de soudure
Fourniture et pose de Cloture en zimerman simple	-1 ferailleur -1 soudeur -1 coffreur -1 chauffeur	-1 poste de soudure -1 camion
Porte piéton, métallique 2,5m x 1,2m.	-1 ferailleur -1 coffreur -1 manoeuvre ordinaire	-1 poste de soudure
Fourniture et application d'une couche anti-rouille et deux couches de peinture	-2 peintre	
Fourniture et pose de Cloture en fil barbele fixé et soudé	-1 coffreur -1 soudeur -1 ferailleur -1 chauffeur	-1 poste de soudure -1 camion
Fourniture et pose de Cloture en zimerman simple	-1 chauffeur -1 manoeuvre -2 soudeur -1 ferailleur	-1 camion plateau
Coffrage pour massifs support équipement et tuyauterie	-2 coffreur -2 manoeuvre	-1 poste de soudure
Excavation fouille en puit ou en tranché à l'engin mécanique en terrain ordinaire	-2 conducteur d'engins -1 ingénieur GC	-2 pelle hydraulique -1 pick up
Remblaiement des fouilles en puit ou en tranché à l'engin mécanique	-2 conducteur d'engins -1 chauffeur	-2 pelle hydraulique -1 retrochargeur

Nom de la tâche	Ressources humaines	Ressources matérielles
Transport des terres excédentaires à la décharge	-1 chauffeur -2 conducteur d'engins	- 1 pelle hydraulique -2 camion benne
Coffrage pour bassin regards et caniveaux	-2 manoeuvre	
Fourniture et pose Conduite d'évacuation en PVC	-1 chauffeur -2 manoeuvre	- camion plateau
Fourniture et pose d'un lit de sable d'apport d'épaisseur 45CM	-2 chauffeur -2 manoeuvre	-1 compacteur -1 camion benne
Fourniture et pose des couches drainage en pierres sèches autour du puit	-2 chauffeur -2 manoeuvre -2 maçon	-1 compacteur -1 camion benne
Fourniture et pose des couches drainage en graviers	-2 chauffeur -1 manoeuvre	-1 compacteur pneumatique 15 T -1 camion
Fourniture et pose de dalles en béton	-1 chauffeur -2 maçon -1 manoeuvre ordinaire	-1 camion
Badigeonnage au flint cut en 02 couches	-2 peintre	
application d'une couche antirouille	-2 maçon	
Manutention transfère et stockage	-2 manoeuvre ordinaire -2 chauffeur	-2 camion
Reprofilage et réglage à l'aide d'une niveleuse	-2 manoeuvre ordinaire -2 conducteur d'engins	-2 niveleuse
Fourniture et mise en place de plaque de signalisation métallique	-2 chauffeur -2 manoeuvre	-2 chauffeur
Fourniture et mise en place de panneaux indicateurs 2 faces 100 cm x 80	-2 chauffeur -2 manoeuvre -1 coffreur -1 ferailleur	-2 chauffeur

TABLE 4.3 : affectation des ressources

16. Affichage des coûts obtenus par Primavera

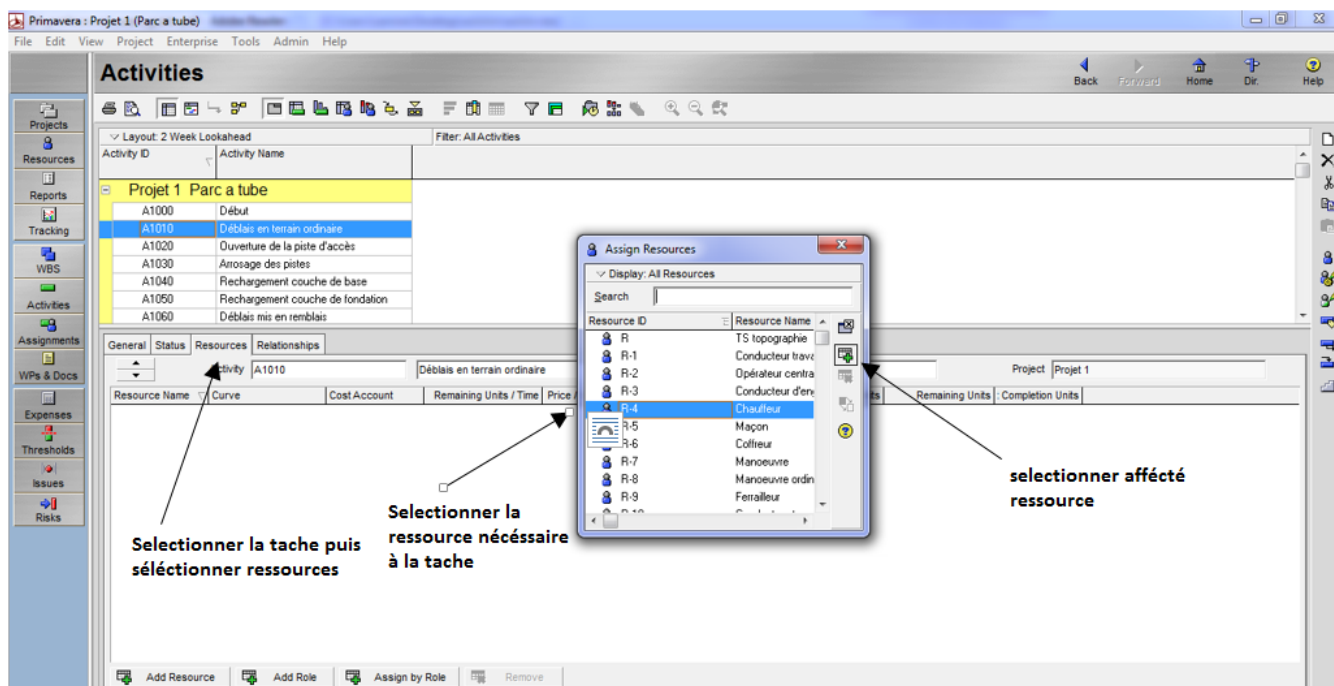


FIGURE 4.19 : Affectation des ressources

Activity ID	Nom de la tâche	Durée	Date de début	Date de fin	Resources	Budgeted Total Cost
NEWPROJ	Parc a tube	314	01-Jan-16	09-Nov-16		316,774,320 DA
A1000	Déblais en terrain ordinaire mis en dépôt	10	01-Jan-16	10-Jan-16	Material, Bulldozer, VLT	12,184,400 DA
A1010	Ouverture de la piste d'accès à la nivele	10	11-Jan-16	20-Jan-16	Niveleuse, Bulldozer, Cc	7,566,950 DA
A1020	Arrosage des pistes avant la pose de tu	15	11-Jan-16	25-Jan-16	Conducteur d'engins, Cc	10,048,000 DA
A1030	Rechargement couche de fondation	15	26-Jan-16	09-Feb-16	Chauffeur PL, Conducte	11,540,760 DA
A1040	Deblais mis en remblais en terrain ordinair	20	26-Jan-16	14-Feb-16	Conducteur d'engins, Bu	15,264,000 DA
A1050	Rechargement couche de base	20	10-Feb-16	29-Feb-16	Chauffeur PL, Conducte	10,747,680 DA
A1060	Traitement et réglage des talus à la nivele	10	10-Feb-16	19-Feb-16	Manoeuvre ordinaire, Cc	8,382,250 DA
A1070	Deblais en terrain ordinaire mis en dépôt	24	15-Feb-16	09-Mar-16	Conducteur d'engins, Cf	12,729,600 DA
A1080	Apport du materiaux y compris densificat	100	15-Feb-16	24-May-16	Conducteur d'engins, Cf	25,040,000 DA
A1090	Impregnation au cut back y compris nettc	70	20-Feb-16	29-Apr-16	Manoeuvre ordinaire, Cc	8,448,000 DA
A1100	Revetement en enrobe a chaud	20	20-Feb-16	10-Mar-16	Conducteur d'engins, Cf	3,312,000 DA
A1110	Excavation fouille en puit ou en tranché à	80	11-Mar-16	29-May-16	Coffreur, Conducteur d'e	2,128,000 DA
A1120	Excavation manuelle pour longrines	40	11-Mar-16	19-Apr-16	Manoeuvre, Coffreur, M.	4,688,000 DA
A1130	Confection et mise en ouvre de gros betc	20	20-Apr-16	09-May-16	Opérateur centrale, Maç	3,972,800 DA
A1140	Porte piéton, métallique 2,5m x 1,2m.	40	20-Apr-16	29-May-16	Ferailleur, Coffreur, Post	4,080,000 DA
A1150	Coffrage pour longrines	160	10-May-16	16-Oct-16	Manoeuvre ordinaire, Cc	46,912,000 DA
A1160	Portail métallique 3mx6m, avec 02 potea	80	10-May-16	28-Jul-16	Ferailleur, Soudeur, Mar	3,040,000 DA
A1170	Fourniture et application d'une couche ar	120	30-May-16	26-Sep-16	Peintre, Chauffeur, Cami	34,680,000 DA
A1180	Fourniture et pose de Cloture en fil barbel	30	30-May-16	28-Jun-16	Coffreur, Soudeur, Ferail	3,612,000 DA
A1190	Depose transport et pose d'une côture er	10	29-Jun-16	08-Jul-16	Chauffeur, CAMION, Fei	2,696,000 DA
A1200	F/P de Cloture en zimerman simple	30	29-Jun-16	28-Jul-16	Soudeur, Ferailleur, Sou	9,720,000 DA
A1210	Cloture en panneaux métalliques de 3m c	80	29-Jul-16	16-Oct-16	Soudeur, Coffreur, Poste	8,096,000 DA
A1220	Coffrage pour massifs support équipemer	70	29-Jul-16	06-Oct-16	Manoeuvre, Ferailleur, C	1,512,000 DA
A1230	Excavation fouille en puit ou en tranché à	20	29-Jul-16	17-Aug-16	Conducteur de travaux	2,480,000 DA
A1240	Remblaiement des fouilles en puit ou en t	5	18-Aug-16	22-Aug-16	finisher, Conducteur d'er	1,056,000 DA
A1250	F/P des couches drainage en pieres sec	27	18-Aug-16	13-Sep-16	Maçon, Manoeuvre, Ch.	7,830,000 DA

A1260	Transport des terres excédentaires à la déca	10	23-Aug-16	01-Sep-16	Chauffeur, Condu	2,872,000 DA
A1270	F/P Conduite d'évacuation en PVC	20	23-Aug-16	11-Sep-16	Manoeuvre, Chau	5,728,000 DA
A1280	Coffrage pour bassin regards et caniveau	45	02-Sep-16	16-Oct-16	Manoeuvre, Maç	270,000 DA
A1290	F/P des couches drainage en graviers	10	02-Sep-16	11-Sep-16	Malaxeur, Chauffe	4,472,000 DA
A1300	F/P d'un lit de sable d'apport d'épaisseur	40	12-Sep-16	21-Oct-16	Manoeuvre, Manc	11,216,000 DA
A1310	Fourniture et mise en place de panneaux	40	12-Sep-16	21-Oct-16	Chauffeur PL, Cor	10,423,000 DA
A1320	F/P de dalles en béton	35	12-Sep-16	16-Oct-16	Maçon, Manoeuv	4,312,000 DA
A1330	Badigeonnage au flint cut en 02 couches	25	12-Sep-16	06-Oct-16	Peintre, Chauffeur	7,900,000 DA
A1340	application d'une couche anti-ruïlle et de	20	07-Oct-16	26-Oct-16	Peintre, Manoeuv	112,000 DA
A1350	Manutention transfère et stockage	5	07-Oct-16	11-Oct-16	Chauffeur, Camior	1,420,000 DA
A1360	Reprofilage et réglage à l'aide d'une nive	20	12-Oct-16	31-Oct-16	Manoeuvre ordina	5,387,680 DA
A1370	coffrage et mise en œuvre	25	12-Oct-16	05-Nov-16	Manoeuvre	60,000 DA
A1380	Fourniture et mise en place de plaque de	4	06-Nov-16	09-Nov-16	Coffreur, Soudeur	835,200 DA

FIGURE 4.20 : Affichage des coûts

Après avoir saisi toutes les activités du projet, leurs ressources, quantités et prix unitaires, on a obtenu les résultats suivants :

- La durée totale de la réalisation du projet est de 314 jours en prenant en considération le calendrier des journées fériées et les vacances.
- Le coût total est de : **316 774 320 DA**

16.1. Récapitulation des résultats finaux

Les résultats obtenus à l'aide de notre application nous permettent de faire une planification du projet d'aménagement d'un parc à tube, c'est-à-dire avoir la date de début et de fin de chaque phase, estimer leurs coûts et suivre le déroulement des travaux. Le planning des différentes phases constituant le projet a donné une durée égale à 314 jours en tenant en compte le calendrier du travail.

L'exploitation de logiciel Primavera nous a permis de minimiser le coût total du projet.

	Durée totale du projet	Coût Total du projet
GCB	365 jours	440 621 669 DA
Logiciel Primavera	314 jours	316 774 320 DA

TABLE 4.4 : Tableau récapitulatif

17. Comparaison entre les méthodes

	Durée totale du projet	Coût Total du projet
GCB	365 jours	440 621 669 DA
PRIMAVERA	314 jours	316 774 320 DA
MPM	314 jours	-
PERT	314 jours	-
LINGO	314 jours	-

18. Les méthodes approchées

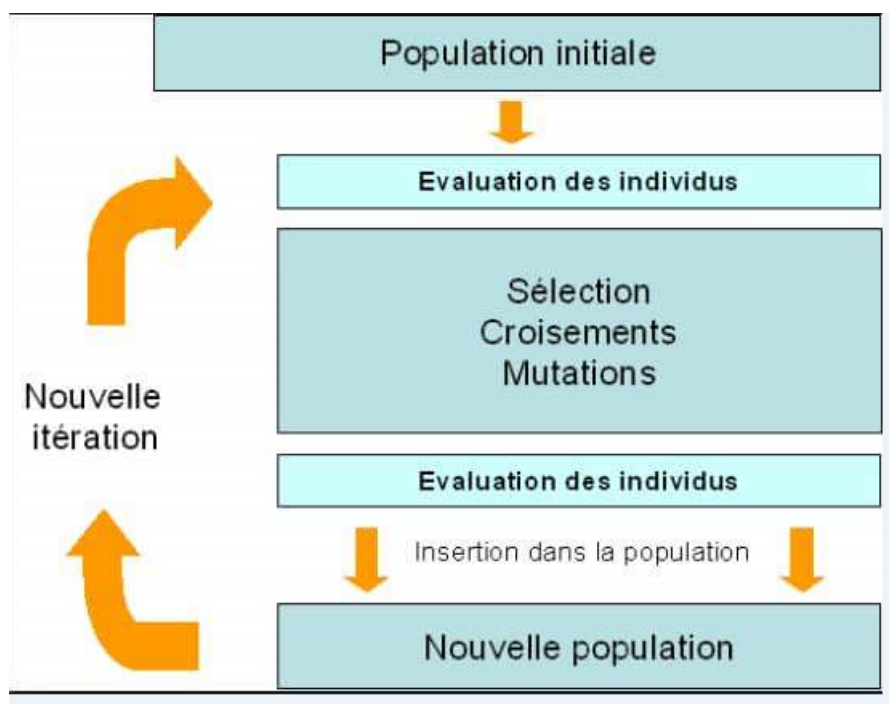
Une métaheuristique est un processus de génération itérative qui permet de guider une heuristique subordonnée par la combinaison de divers concepts tels que l'exploitation et l'exploration de l'espace de recherche, ainsi que des stratégies d'apprentissage qui sont utilisées pour structurer efficacement l'information afin de déterminer des solutions d'excellente qualité.

Les métaheuristiques sont en général nondéterministes et ne donnent aucune garantie d'optimalité mais ils peuvent faire usage de l'expérience accumulée durant la recherche de l'optimum, pour mieux guider Sa suite de la procédure de recherche.

On distingue les métaheuristiques à solution unique parmi lesquelles on retrouve de nombreux algorithmes de recherche locale, et les métaheuristiques à base de population. Nous nous intéressant dans cette section au métaheuristiques à base de population

18.1. Algorithme génétique

L'algorithme génétique (Genetic Algorithm),dénommé AG est un exemple particulier de méthode évolutive pour lequel l'adaptation individuelle est réalisée à l'aide d'un opérateur dit de mutation, alors que l'échange d'information est gouverné par un opérateur de reproduction et un opérateur de combinaison.



Conclusion

Ce chapitre a été consacré pour donner deux types de modélisation : la modélisation par la théorie des graphes ou nous avons utilisé les méthodes PERT et MPM et par un programme linéaire qui a été résolu avec le logiciel LINGO dans le but de trouver une solution optimal.

Chapitre 5

Résolution du problème et implémentation

Introduction

Nous aboutissons maintenant à l'étape finale à savoir l'élaboration d'une application muni d'une interface claire et accessible, facilitant son utilisation.

1. Choix du langage

Le choix s'est porté sur l'emploi du langage du logiciel Matlab, car il répond aux critères suivants :

- La maniabilité du langage : constitué d'un ensemble de possibilités faisant en sorte que le programmeur travaille avec aisance, assuré d'une part par la syntaxe du langage et d'autre part par un aspect visuel clair représentatif à la fois du détail et du global.
- Le bagage du langage : il contient une interface graphique puissante ainsi qu'une grande variété de méthodes scientifiques implémentées (prédéfinies).

1.1. Généralités sur le langage

Matlab est un logiciel parfaitement dédié à la résolution de problèmes d'analyse numérique ou de traitement du signal. Permet d'effectuer des calculs matriciels ou de visualiser les résultats sous forme graphique. La formulation des problèmes s'apparente à la formulation mathématique des problèmes à résoudre. L'utilisation de ce logiciel consiste à lancer des lignes de commandes, qui peuvent le plus souvent ressembler à la programmation en C.

Le nom Matlab vient de MATrix Laboratory, les éléments de données de base manipulés par Matlab étant des matrices (mais pouvant évidemment se réduire à des vecteurs et des

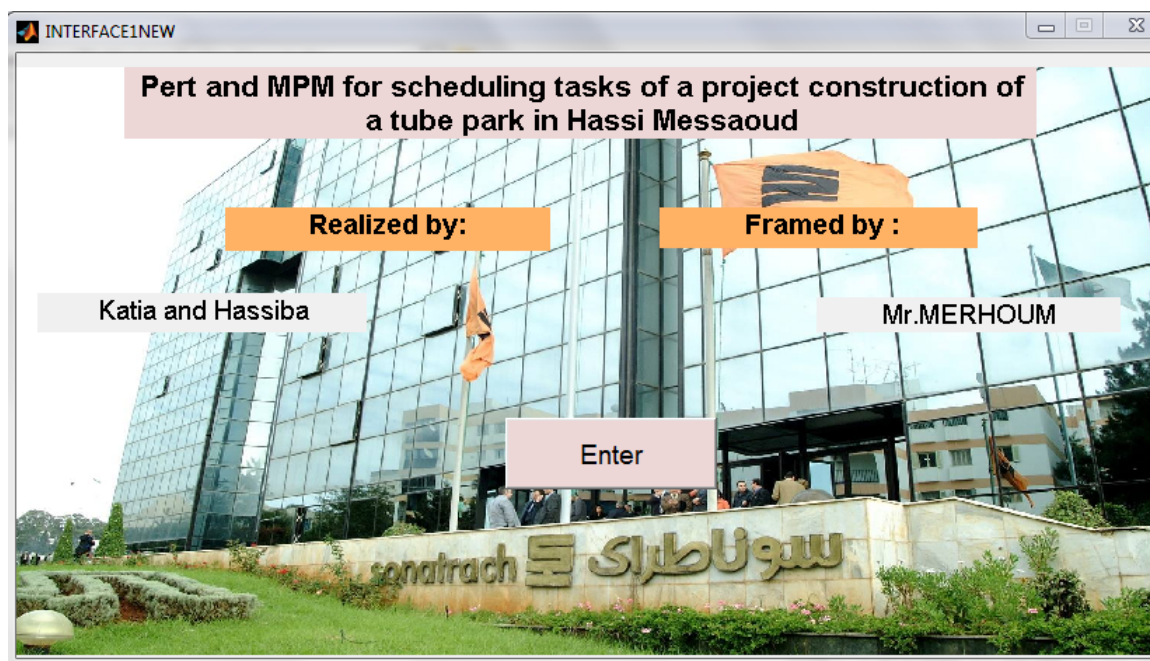
scalaires) qui ne nécessitent ni dimensionnement ni déclaration de type. Contrairement aux langages de programmation classiques, les fonctions du Matlab permettent de manipuler directement et interactivement ces données matricielles, le rendant ainsi particulièrement efficace en calcul numérique, analyse et visualisation de données en particulier. Il existe deux modes de fonctionnement sur Matlab :

- (a) le mode interactif : les instructions sont exécutées au fur et à mesure qu'elles sont données par l'utilisateur.
- (b) le mode exécutif : dans ce cas, l'utilisateur utilise un fichier "M-file" contenant toutes les instructions à exécuter

2. Présentation de l'interface

Dans la suite de ce chapitre, nous décrivons d'une manière détaillée, les différentes applications mise à la disposition de l'utilisateur.

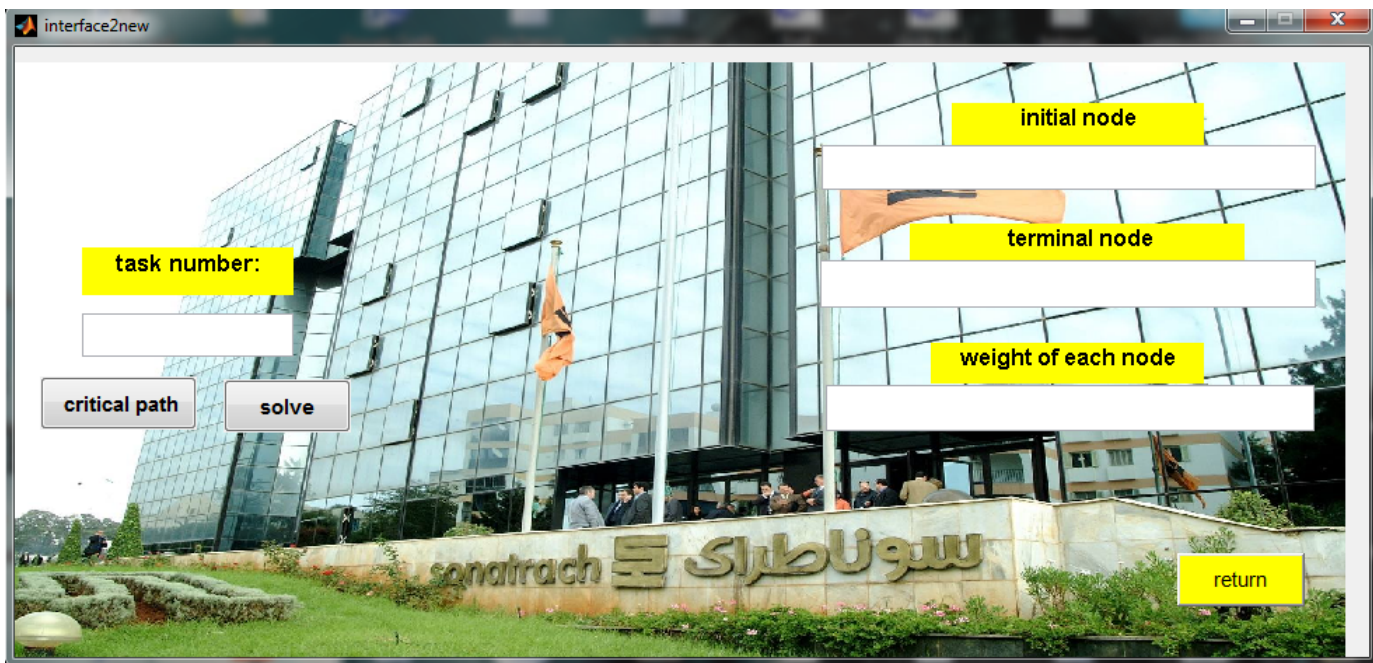
Dans un souci de faire une application conviviale, et simple à utiliser, on s'est servi de l'outil GUI(Graphical User Interface) de matlab pour réaliser l'application suivante, et pour cela, on a utilisé les fonctions prédéfinis qu'on a déjà citées.



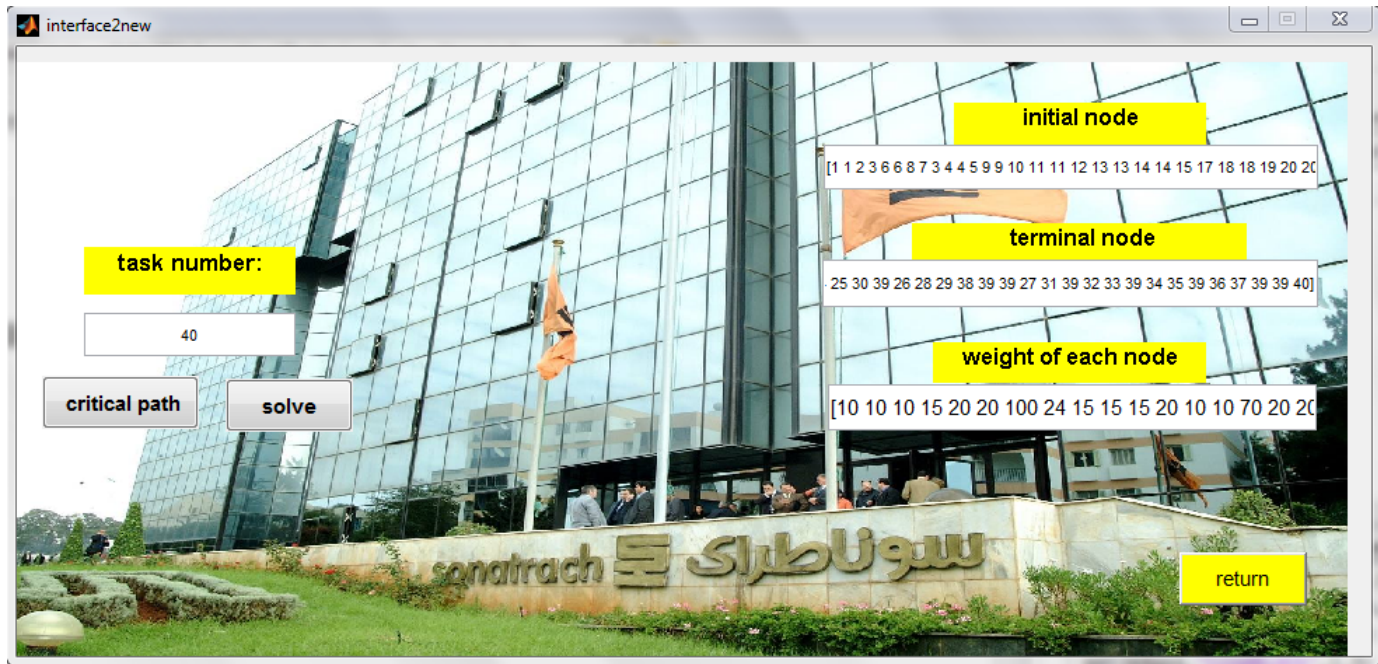
On clique sur **Enter** pour afficher la fenetre suivante



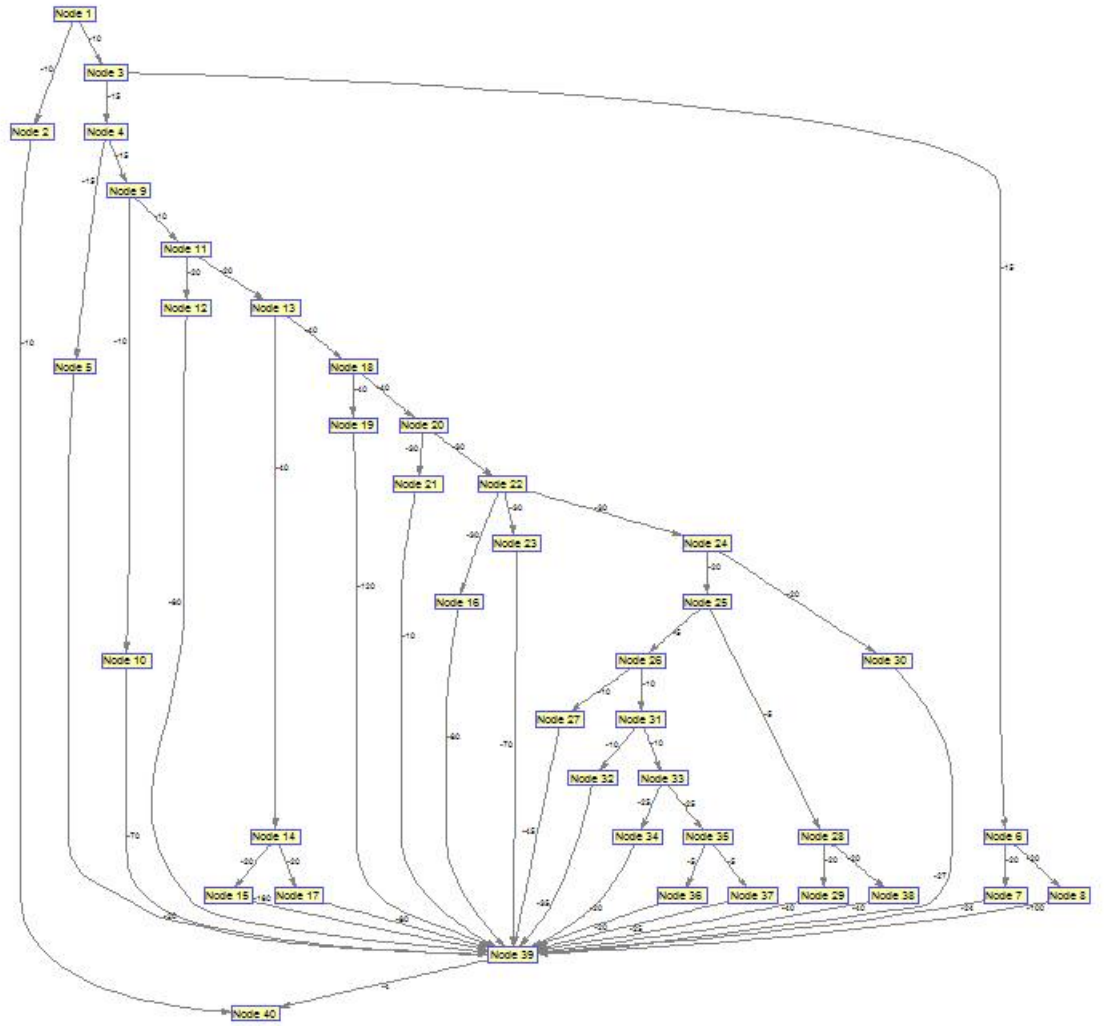
En cliquant sur le button MPM, on obtient :



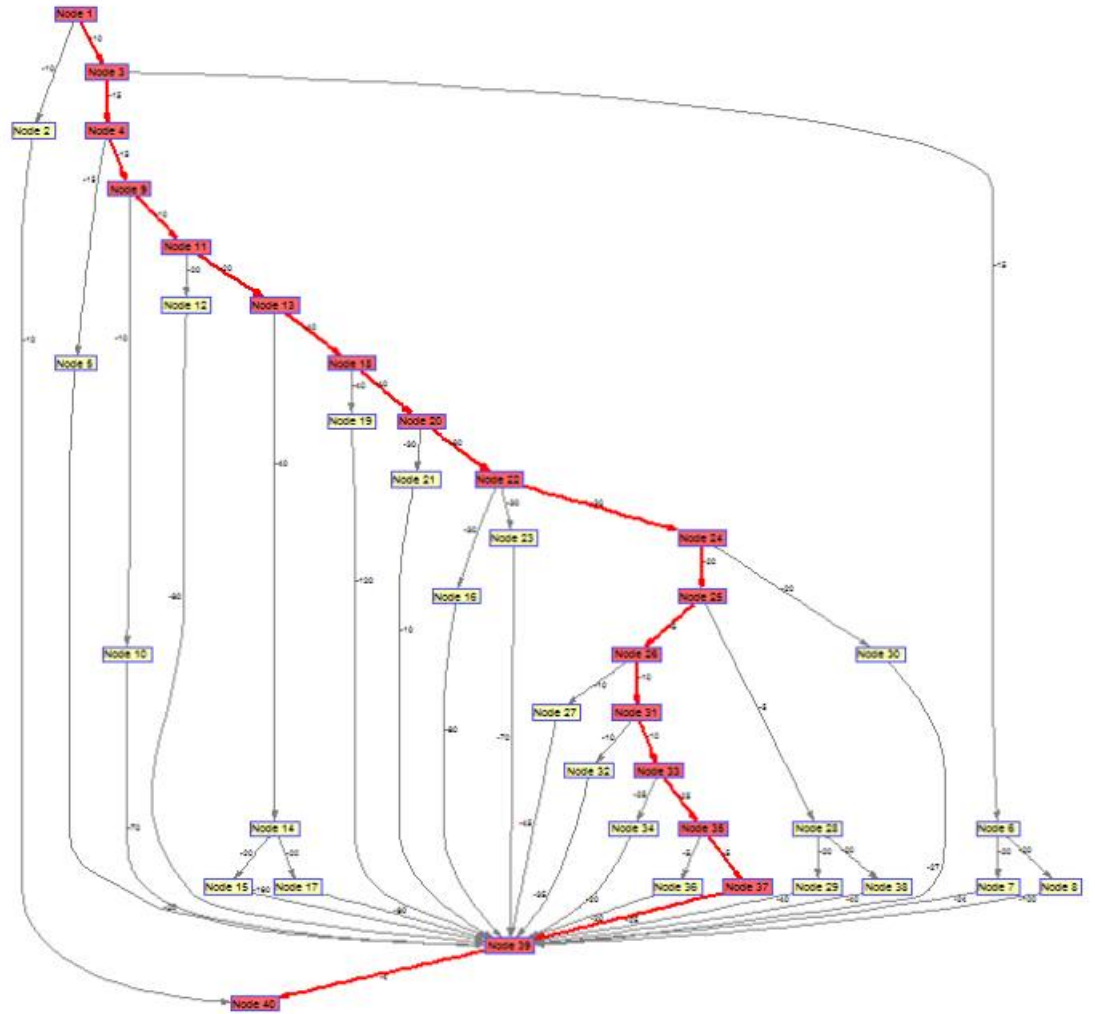
Dans cette fenêtre, on fait rentrer les données de notre problème :



En cliquant sur le bouton **solve** , On obtient :



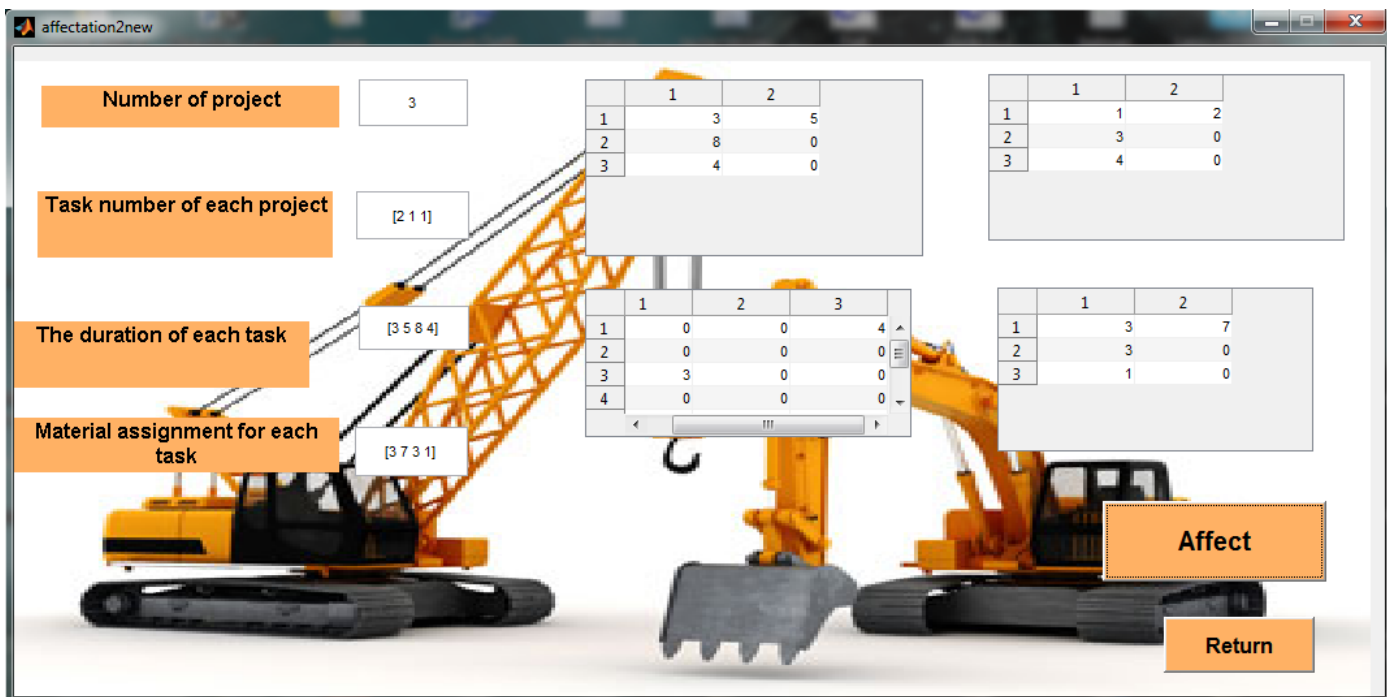
Pour afficher le chemin critique , on clique sur le bouton **critical path**



Pour l'affectation du materiel , on clique sur **material assignment**, on obtient :



Après avoir rentrée les données et cliquer sur **Affect** on obtient :



3. Implémentation de la méthode PERT en C++

Le programme résout le problème d'ordonnancement par la méthode PERT et donne le chemin critique à la fin.

Lors du lancement de notre programme, il demande :

- D'introduire le nombre de tâche.
- Introduire pour chaque tâche les successeurs et les durées.

```
C:\Users\Lamine\Desktop\pERT.exe
Donner le nombre des taches qui vient apres 7:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 7 et 39: 24

Donner le nombre des taches qui vient apres 8:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 8 et 39: 100

Donner le nombre des taches qui vient apres 9:2
Donner le numero du successeur N 1:10
Donner la duree entre 9 et 10: 10
Donner le numero du successeur N 2:11
Donner la duree entre 9 et 11: 10

Donner le nombre des taches qui vient apres 10:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 10 et 39: 70

Donner le nombre des taches qui vient apres 11:2
Donner le numero du successeur N 1:12
Donner la duree entre 11 et 12: 20
Donner le numero du successeur N 2:13
Donner la duree entre 11 et 13: 20

Donner le nombre des taches qui vient apres 12:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 12 et 39: 80

Donner le nombre des taches qui vient apres 13:2
Donner le numero du successeur N 1:14
Donner la duree entre 13 et 14: 40
Donner le numero du successeur N 2:18
Donner la duree entre 13 et 18: 40
```

```
C:\Users\Lamine\Desktop\pERT.exe
Donner le nombre des taches qui vient apres 14:2
Donner le numero du successeur N 1:15
Donner la duree entre 14 et 15: 20
Donner le numero du successeur N 2:17
Donner la duree entre 14 et 17: 20

Donner le nombre des taches qui vient apres 15:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 15 et 39: 160

Donner le nombre des taches qui vient apres 16:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 16 et 39: 80

Donner le nombre des taches qui vient apres 17:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 17 et 39: 80

Donner le nombre des taches qui vient apres 18:2
Donner le numero du successeur N 1:19
Donner la duree entre 18 et 19: 40
Donner le numero du successeur N 2:20
Donner la duree entre 18 et 20: 40

Donner le nombre des taches qui vient apres 19:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 19 et 39: 120

Donner le nombre des taches qui vient apres 20:2
Donner le numero du successeur N 1:21
Donner la duree entre 20 et 21: 30
Donner le numero du successeur N 2:22
Donner la duree entre 20 et 22: 30
```

```
C:\Users\Lamine\Desktop\pERT.exe
Donner le nombre des taches qui vient apres 21:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 21 et 39: 10

Donner le nombre des taches qui vient apres 22:3
Donner le numero du successeur N 1:16
Donner la duree entre 22 et 16: 30
Donner le numero du successeur N 2:23
Donner la duree entre 22 et 23: 30
Donner le numero du successeur N 3:24
Donner la duree entre 22 et 24: 30

Donner le nombre des taches qui vient apres 23:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 23 et 39: 70

Donner le nombre des taches qui vient apres 24:2
Donner le numero du successeur N 1:25
Donner la duree entre 24 et 25: 20
Donner le numero du successeur N 2:30
Donner la duree entre 24 et 30: 20

Donner le nombre des taches qui vient apres 25:2
Donner le numero du successeur N 1:26
Donner la duree entre 25 et 26: 5
Donner le numero du successeur N 2:28
Donner la duree entre 25 et 28: 5

Donner le nombre des taches qui vient apres 26:2
Donner le numero du successeur N 1:31
Donner la duree entre 26 et 31: 10
Donner le numero du successeur N 2:27
Donner la duree entre 26 et 27: 10
```

```
C:\Users\Lamine\Desktop\pERT.exe
Donner le nombre des taches qui vient apres 27:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 27 et 39: 45

Donner le nombre des taches qui vient apres 28:2
Donner le numero du successeur N 1:29
Donner la duree entre 28 et 29: 20
Donner le numero du successeur N 2:38
Donner la duree entre 28 et 38: 20

Donner le nombre des taches qui vient apres 29:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 29 et 39: 40

Donner le nombre des taches qui vient apres 30:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 30 et 39: 27

Donner le nombre des taches qui vient apres 31:2
Donner le numero du successeur N 1:32
Donner la duree entre 31 et 32: 10
Donner le numero du successeur N 2:33
Donner la duree entre 31 et 33: 10

Donner le nombre des taches qui vient apres 32:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 32 et 39: 35

Donner le nombre des taches qui vient apres 33:2
Donner le numero du successeur N 1:34
Donner la duree entre 33 et 34: 25
Donner le numero du successeur N 2:35
Donner la duree entre 33 et 35: 25
```

```

C:\Users\Lamine\Desktop\pERT.exe
Donner le nombre des taches qui vient apres 34:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 34 et 39: 20

Donner le nombre des taches qui vient apres 35:2
Donner le numero du successeur N 1:36
Donner la duree entre 35 et 36: 5
Donner le numero du successeur N 2:37
Donner la duree entre 35 et 37: 5

Donner le nombre des taches qui vient apres 36:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 36 et 39: 20

Donner le nombre des taches qui vient apres 37:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 37 et 39: 25

Donner le nombre des taches qui vient apres 38:1
Donner le numero du successeur N 1:39
Donner la duree entre 38 et 39: 40

Donner le nombre des taches qui vient apres 39:1
Donner le numero du successeur N 1:40
Donner la duree entre 39 et 40: 4
    
```

```

La marge de 1: 0
La marge de 2: 290
La marge de 3: 0
La marge de 4: 0
La marge de 5: 250
La marge de 6: 165
La marge de 7: 241
La marge de 8: 165
La marge de 9: 0
La marge de 10: 190
La marge de 11: 0
La marge de 12: 160
La marge de 13: 0
La marge de 14: 20
La marge de 15: 20
La marge de 16: 20
La marge de 17: 100
La marge de 18: 0
La marge de 19: 40
La marge de 20: 0
La marge de 21: 120
La marge de 22: 0
La marge de 23: 30
La marge de 24: 0
La marge de 25: 0
La marge de 26: 0
La marge de 27: 20
La marge de 28: 15
La marge de 29: 15
La marge de 30: 53
La marge de 31: 0
La marge de 32: 20
La marge de 33: 0
La marge de 34: 10
La marge de 35: 0
La marge de 36: 5
La marge de 37: 0
La marge de 38: 15
La marge de 39: 0
La marge de 40: 0
Le chemin critique est :
==> 1 3 4 9 11 13 18 20 22 24 25 26 31 33 35 37 39
    
```

les résultats ont été encourageants, car nous avons trouvé le meme chemin critique obtenu dans le chapitre 4 avec une durée minimal de 314 jours , donc nous avons réduit la durée totale de 51 jours.

Conclusion générale

Il serait pertinent de faire une auto évaluation de notre modeste travail, une critique positive nous permettra sûrement de repérer nos difficultés et de nous situer par rapport aux objectifs qu'on s'était assignés au départ.

L'ordonnement de projets est un domaine très large et ces méthodes sont réputées difficiles.

Dans ce mémoire nous avons présenté différentes phases d'élaboration d'un projet. Nous avons étudiée avec détails le problème de l'ordonnement sous ses différents aspects : modèles, méthodes et outils de calcul.

Pour la planification des taches nous avons utiliser le logiciel PRIMAVERA P6 qui nous a permit de réduire la durée et le cout totale du projet , par la suite nous avons réalisé deux outils de calculs qui sont un logiciel développé sous Matlab , qui permet de faire la résolution des problèmes d'ordonnement par la méthode MPM et un programme en C++ qui permet de faire la résolution de la méthode PERT.

Pour la résolution du modèle linéaire associé à notre problème nous avons utilisé le logiciel LINGO qui permet de résoudre un problème d'optimisation qu'il soit linéaire ou non .

Finalement ,notre objectif est atteint car nous avons pu trouver une solution moin couteuse et nous espérons que ce résultat sera bénéfique pour l'entreprise et nous avons montrer l'importance de la recherche opérationnelle dans le monde du travail .

Il nous semble néanmoins avoir acquis les connaissances essentielles durant nos années de formation , et de faire un premier pas vers le monde du travail .

Bibliographie

- [1] A.Ben Hmida , " Méthodes arborescentes pour la résolution des problèmes d'ordonnement flexible" ,université de toulouse ,2009

- [2] A.ZOUINA , "Modélisation et optimisation d'un projet de canalisation par Kanaghaz" , Mémoire d'ingénieur , Université de Boumerdes 2012

- [3] B.BAKI , " Planification et ordonnancement probabilistes sous contraintes temporelles " ,Thèse de doctorat , Université de Caen , France 2006

- [4] B.Roy et M.Dibon , "l'ordonnement par la méthode des potentiels" , février 1966

- [5] C. OLIVIER , "Planification de Projets" ,Ecole Supérieure de Technologie Université du Québec 2002

- [6] D.MAQUIN , "éléments de théorie des graphes et programmation linéaire" , Institut national polytechnique de Lorraine" , mai 2008

- [7] Daniel De Wolf , "Gestion de Projets" , Université du Littoral Dunkerke ,2007

- [8] F.AOUACHE et M.BELHARET," Planification et gestion de projets : Réalisation d'une station terminale El-Kala au sein du groupement SAIPEM " , Université Mouloud Mammeri TIZI-OUZOU , Juillet 2012

- [9] G. Vallet , "Techniques Analyse de Projet" , Dunod 1995

- [10] H.HOUARI , " Planification et Ordonnement en temps réel d'un Job shop en utilisant l'intelligence Artificielle " ,Mémoire de Magister en Automatique Option :Modélisation et commande des systèmes ,Université de Tlemcen , Juillet 2012

- [11] J.RAVAY , "ORDONNANCEMENT SOUS INCERTITUDE " ,Université du Québec à Rimouski ,Avril 2008

- [12] J.F.RABASSE , " Introduction à la programmation orientée objets , présentation du langage C++" , 2005
- [13] Kenneth H. Rosen, Ph.D ,A java library of Graph Algorithms And Optimization
- [14] M.Ali ALOULOU , "Introduction aux problemes d'ordonnancement", Université Paris Dauphine, 28 novembre 2005
- [15] "Oracle Primavera P6" , Guide utilisateur de P6 Professionel 8.3 , mars 2014
- [16] P.ESQUIROL et P.LOPEZ "L'ordonnancement"
- [17] Pinedo, Michael L , "Scheduling, Theory, Algorithms, and Systems", 2012
- [18] P.BAPTISTE , E.NERON , F.SOURD , "Modèles et algorithmes en ordonnancement"
- [19] V.GALVAGNON , "Aide à la décision en gestion multi-projet distribuée : Approche locale pour la planification à moyen terme" , 14 décembre 2000