

وزارة الجامعات والبحث العلمي  
Ministère aux Universités et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT *Genie Industriel*

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Elaboration d'un modèle d'ordonnement  
des travaux de réalisation d'un  
Post 60/30 KV.*

Proposé par :  
W. QUADAN

Etudié par :  
S. ABDELHAMID  
H. BARAGH

Dirigé par :  
M. BACHERIF

PROMOTION

1992

ان عملنا يتمثل في إيجاد نموذج مثالي لتصنيف الأشغال الخاصة بمشروع انجاز هجول كهربائي مبسط. في هذا الإطار المنظر طبقنا طريقة PERT-time لكنه تبين أن هذه الأخيرة ليست كافية بهفورها . لهذا ارتأين إلى تعديل برنامج هجولتيني كفيل بسد هذا العجز. النتائج التي حصلنا عليها كانت جد مهمة.

#### SUMMARY

Our work is concerning by elaboration of a typical model of scheduling jobs of a simplified electric transformation post.

In this perspective, we applied PERT-TIME method.

Because this method was not sufficient, we elaborated a heuristic program in order to resolve this problem. Results given by this heuristic are very interesting.

#### RESUME

Notre travail consiste à élaborer un modèle type d'ordonnement des tâches d'un projet de réalisation d'un poste de transformation électrique simplifié.

Dans cette perspective, nous avons appliqué la méthode PERT-TEMPS. Celle-ci s'étant avérée insuffisante, nous avons élaboré un programme heuristique à même de combler cette carence. Les résultats donnés par cette heuristique sont très intéressants

DEDICACES



*A ma chère mère*

*A mon chère père*

*A mes chères soeurs Amina et Ahkam*

*A mon chère petit frère Riyad*

*A mes chères frères*

*A Feyrouz et Nacera*

*A toutes mes amies*

*A tout musulman se sacrifiant dans le but de concrétiser le projet islamique*

*Je dédie ce modeste travail*

*A. Saliha*

DEDICACES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

*A mes très chers parents qui restent pour moi un trésor d'amour  
et de patience*

*A la mémoire de ma chère regrettée soeur*

*A mon cher frère Mohammed qui m'a toujours aidé et encouragé*

*A mes autres frères bien aimés*

*A ma chère belle-soeur, mes jolies nièces Ratiba et Amina et mon  
adorable neveu Touhani*

*A toutes mes amies*

*Et à tous ceux et celles qui me sont chers.*

*Je dédie ce mémoire*

**NAIMA**

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Mme BENCHERIF pour avoir accepté de nous encadrer.

Nous remercions aussi l'ensemble du personnel du département Programmation et plus particulièrement ceux de la division Méthode et Ordonnancement pour leur entière collaboration.

Nous n'oublierons pas d'exprimer nos remerciements les plus vifs à M. OUADAH qui n'a pas ménagé sa peine et son temps pour diriger notre travail et nous prodiguer ses précieux conseils.

Aussi, nous exprimons nos remerciements à DJAMILA qui a toujours été patiente avec nous, ainsi qu'à MM. OUKIL et LEB CIR.

Nous ne saurions oublier le grand mérite de tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

SOMMAIRE

|  |  |    |
|--|--|----|
| INTRODUCTION .....   |  | 3  |
| <b>PARTIE 1                      POSITION DU PROBLEME</b>                    |  |    |
| CHAPITRE 1    PRESENTATION DE L'ENTREPRISE .....                             |  | 5  |
| I - LA DIRECTION TRAVAUX POSTES ET INDUSTRIELS (DTPI) .....                  |  | 6  |
| II - ORGANISATION DES TRAVAUX .....  |  | 41 |
| CHAPITRE 2    DESCRIPTION DU PROBLEME .....                                  |  | 14 |
| <b>PARTIE 2                      LES PROBLEMES D'ORDONNANCEMENT</b>          |  |    |
| CHAPITRE 1    CONCEPTS FONDAMENTAUX .....                                    |  | 17 |
| CHAPITRE 2    LES DIFFERENTS PROBLEMES D'ORDONNANCEMENT .....                |  | 20 |
| I - LA PRODUCTION CONTINUE .....   |  | 20 |
| II - LES PROBLEMES D'ATELIERS .....  |  | 21 |
| III - LA PRODUCTION UNITAIRE .....   |  | 23 |
| CHAPITRE 3    METHODES DE RESOLUTION .....                                   |  | 26 |
| I - LE DIAGRAMME DE GANTT .....  |  | 26 |
| II - LES METHODES POLYNOMIALES .....   |  | 28 |
| III - LES METHODES DE RESOLUTION DE PROBLEMES<br>NP-DIFFICILES .....         |  | 33 |
| <b>PARTIE 3                      APPROCHE DE RESOLUTION</b>                  |  |    |
| CHAPITRE 1    PROBLEMATIQUE .....  |  | 35 |
| CHAPITRE 2    PRESENTATION DE LA METHODE PERT .....                          |  | 37 |
| CHAPITRE 3    APPLICATION DE LA METHODE PERT-TEMPS AU PROJET<br>FRENDA ..... |  | 45 |

I - METHODOLOGIE D'APPROCHE ..... 45  
 II - APPLICATION ..... 48  
 III - INTERPRETATION DES RESULTATS ..... 51

PARTIE 4 AMELIORATION DU PERT-TEMPS

CHAPITRE 1 APPLICATION DU PERT-CHARGE ..... 55  
 I - AFFECTATION DES RESSOURCES PAR LE LOGICIEL  
 PROJECT ..... 55  
 II - AUTOMATISATION DE L'AFFECTATION DES RESSOURCES .. 58  
 CHAPITRE 2 HEURISTIQUE D'AMELIORATION DU PERT ..... 61  
 I - DONNEES POUR LA MODELISATION ..... 61  
 II - ORGANIGRAMME EN BLOCS DE L'HEURISTIQUE ..... 64  
 III - ALGORITHME D'AFFECTATION DES RESSOURCES ..... 67  
 IV - PROBLEMES TEST ..... 71  
 V - APPLICATION DE L'HEURISTIQUE AU PROJET FRENDA .. 78  
 VI - ANALYSE DE LA SENSIBILITE DU MODELE ..... 73  
 VII - GUIDE D'UTILISATION DU PROGRAMME ..... 75

PARTIE 5 SUGGESTIONS ..... 78

CONCLUSION GENERALE ..... 84  
 BIBLIOGRAPHIE ..... 86  
 ANNEXES .....

## INTRODUCTION

L'entreprise nationale des travaux et montage électrique KAHRAKIB, est un organisme dont l'une des missions est la réalisation des postes de transformation électrique.

En partant de la décomposition de l'ouvrage à réaliser (en ensembles de tâches) et de l'évaluation des ressources nécessaires pour chaque tâche, l'entreprise établit le planning général de réalisation du poste, représenté par un diagramme prévisionnel de type GANTT.

Vu le retard permanent enregistré pour la réalisation de ces projets, il y a lieu de revoir la méthode de programmation et d'organisation des travaux utilisée et réfléchir à un meilleur procédé d'ordonnancement .

Ainsi, outre l'amélioration des plans de programmation des travaux, l'objectif de notre travail se veut ambitieux, dans la mesure où nous aspirons à l'élaboration d'un *modèle d'ordonnancement type* pour les postes simplifiés; Modèle susceptible de servir ultérieurement de plate-forme pour des extensions à des édifices de plus grande envergure, tels que les postes très haute tension et haute tension.

Notre étude sera donc structurée comme suit :

Dans un premier temps, nous présenterons l'organisme d'accueil et les structures concernées directement par notre application (Département Programmation), suivi d'une description du problème à étudier, appréhendé avec les données concrètes du terrain.

Dans un second temps, nous nous proposons de passer en revue les différents problèmes d'ordonnancement ainsi que les



techniques de résolution y afférentes ce, dans le but de positionner le problème dans le créneau théorique adéquat et choisir la méthode de résolution correspondante.

Une fois la problématique définie, nous consacrons une partie de notre travail à la présentation du PERT-TEMPS, puis nous en ferons une application aux travaux de réalisation d'un poste de transformation électrique simplifié (60/30 kv).

Ensuite, sachant que la méthode PERT-TEMPS ne résoud le problème que sur le plan "temps", négligeant la contrainte "charge", nous avons programmé une heuristique, se chargeant d'affecter les ressources disponibles aux tâches composant l'ouvrage, en utilisant comme INPUT les résultats du PERT-TEMPS. Ainsi, cette phase de notre travail quatre (4) consistera en l'élaboration de l'heuristique, sa validation par des exemples test et son application à un poste simplifié. Ceci sera suivi par une étude de sensibilité du modèle. En fin, pour terminer nous proposerons un guide d'utilisation du programme établi.

Nous clôturerons notre étude par des suggestions diverses.

# PARTIE 1

## POSITION DU PROBLEME

L'entreprise nationale des travaux et montage électrique, par abréviation KAHRAKIB, a été créée par décret numéro 82-306 du 16 octobre 1982, et est née de la restructuration de la société nationale de l'électricité et du gaz SONELGAS.

Les principaux domaines d'activité de KAHRAKIB concernent :

- La réalisation des lignes aériennes: Haute Tension (HT), Très Haute Tension (THT), Moyenne Tension(MT) et Basse Tension (BT).
- La réalisation des câbles souterrains THT/ HT/MT
- Le développement de l'électricité industrielle
- La fabrication d'équipements électriques
- Les études du génie civil, charpente métallique et électrique
- La réalisation des postes de transformation électrique qui sont de trois types:
  - poste simplifié : 60/30 kV, il comporte le bâtiment 33kV et le poste extérieur
  - poste classique : 220/60 kV, il comporte en plus du poste simplifié le bâtiment de commande
  - poste très haute tension (THT) : 220/50/30 kV, qui comporte en plus du poste classique des villas et le bâtiment de relayage.

Pour réaliser ces travaux, KAHRAKIB dispose de moyens humains et matériels.

Les moyens humains sont d'environ 803 contractuels par mois et 1167 statutaires.

## PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

### CHAPITRE I

Les moyens matériels environ :

- 483 véhicules légers.
- 260 véhicules industriels.
- 494 engins de chantier.
- une infrastructure de maintenance.

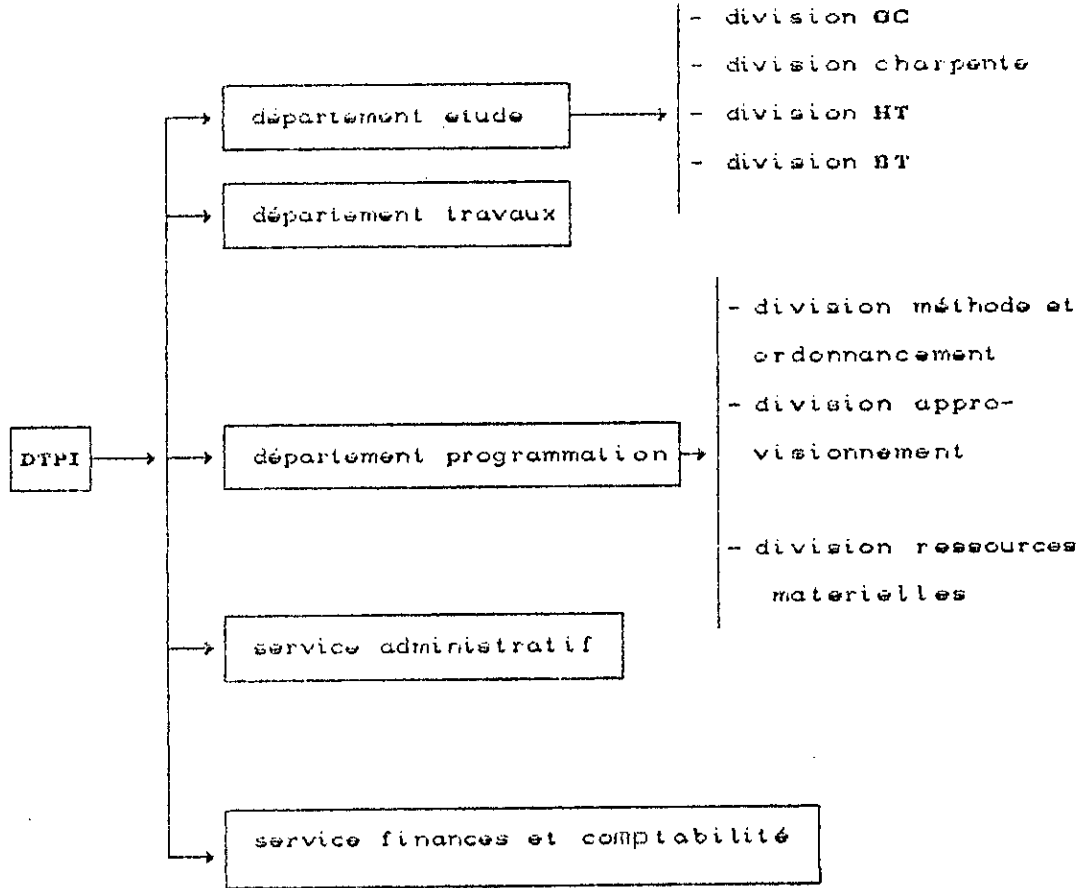
L'activité concernant la réalisation des postes de transformation électrique est confiée à la direction travaux postes et industriels (DTPI), cependant, notre présentation se limitera à cette structure:

### I-LA DIRECTION TRAVAUX POSTES ET INDUSTRIELS (DTPI):

La direction travaux postes et industriels a pour mission d'étudier et de réaliser des ouvrages d'infrastructures électriques liés au postes de transformation, ainsi que des ouvrages d'électricité industrielle et de génie civil industriel. Dans ce cadre, la DTPI prend en charge l'ensemble des tâches en aval de la signature des contrats à savoir:

- la planification et la programmation des affaires
- les études d'exécution des ouvrages
- les approvisionnements liés aux ouvrages
- la réalisation sur site

1-STRUCTURE :



2-ATTRIBUTIONS DES DIFFERENTS DEPARTEMENTS :

2-1 DEPARTEMENT TRAVAUX :

Le département travaux réalise conformément au dossier technique (portant les plans des travaux) élaboré par le département études, et aux plannings établis par le département programmation, les ouvrages qui lui sont confiés et exécute les tâches y afférentes.

Ses attributions consistent à préparer les conditions de

démarrage des chantiers, se matérialisant par la désignation des responsables devant assurer le suivi des travaux sur sites. Il s'assure ensuite de la mise à disposition des chantiers des ressources humaines et matérielles telles qu'évaluées et programmées par le département programmation.

## 2-2 DEPARTEMENT ETUDES :

A partir des plans de conception établis par SONELGAZ (le client), le département études a pour fonction essentielle de traduire ces objectifs en plans d'exécution qui permettront l'établissement des plannings prévisionnels.

### 2-2-1 DIVISION GENIE CIVIL :

Elle prend en charge les études d'exécution génie civil liées aux ouvrages telles que les batiments de commande, les implantations de massifs et caniveaux...

### 2-2-2 DIVISION CHARPENTE :

Elle se charge des études d'exécution relatives à la charpente métallique des ouvrages, à savoir, le dimensionnement des charpentes et des massifs de fondation, ainsi que l'installation des portiques.

### 2-2-3 DIVISION HAUTE TENSION :

Pour l'établissement des études électriques haute tension, elle définit le matériel et calcule le dimensionnement électrique, thermique et électrodynamique.

#### 2-2-4 DIVISION BASSE TENSION :

Sa fonction consiste surtout à dimensionner le matériel basse tension (disjoncteur, sectionneur) et le contrôle de son fonctionnement.

#### 2-3 DEPARTEMENT PROGRAMMATION : Ses fonctions consistent à :

- élaborer les programmes d'action périodiques à réaliser par chacune de ses divisions
- coordonner et contrôler les activités des divisions.

#### 2-3-1 DIVISION METHODE ET ORDONNANCEMENT :

La fonction METHODE consiste à :

-Collecter et traiter toutes les données de nature technique et économique permettant de définir et d'adapter la politique de réalisation de la direction.

-Concevoir et rédiger les procédures de travail liées à la fonction travaux.

-Proposer de nouveaux procédés de réalisation (plus efficaces).

-Définir les modes opératoires de réalisation des tâches et rédige les notices d'application qu'elle transmet au département travaux.

La fonction ORDONNANCEMENT :

-Procède en relation avec les départements étude et travaux à une analyse de la consistance de l'ouvrage à réaliser.

Cette première analyse portera sur la définition précise du projet à réaliser : objet du projet, dates de début et d'achèvement possible, souhaitées ou imposées par le contrat et l'enveloppe financière du projet.

-Décompose l'ouvrage à réaliser en ensemble homogènes de tâches constituant des objectifs partiels à réaliser.

-En partant de la décomposition de l'ouvrage à réaliser et de l'évaluation des ressources nécessaires à mettre en oeuvre, établit le planning général de réalisation de l'affaire.

-Suit l'exécution des plannings (GANTT) et assure leur mise à jour en fonction de l'état d'avancement des études d'une part et des travaux sur chantier d'autre part.

#### 2-3-2 DIVISION APPROVISIONNEMENT : Celle-ci

-Elabore les programmes d'approvisionnement de la direction sur la base de la consolidation des besoins tels qu'ils découlent de l'évaluation des ressources nécessaires à la réalisation.

-Prépare, en relation avec le département études, les dossiers techniques relatifs à l'acquisition (achat locaux et/ou importation) des équipements spécifiques aux activités de la direction, élabore sur cette base les contrats d'approvisionnement et assure leur suivi

#### 2-3-3 DIVISION RESSOURCES MATERIELLES : Cette structure

-Tient le fichier physique des équipements de la direction, assure son actualisation en fonction des acquisitions et des mises à la réforme.

-Tient une situation permanente des moyens matériels confiés pour entretien et réparation aux ateliers relevant de la



direction maintenance et /ou à des ateliers extérieurs à l'entreprise et assure le suivi sur les plans physique et financier

## II/ORGANISATION DES TRAVAUX :

### 1-ELEMENTS DE TRAVAIL :

#### A/NORME DE PRODUCTION ET RATIO:

La norme de production est le rendement horaire pour un matériel donné .

Exemple: pour un bulldozer de puissance 100 cv et dont la distance de chargement = 50m le rendement horaire  $NP=28 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Le ratio sera le rendement unitaire pour une personne ou une équipe de travail.

Exemple: pour la réalisation de la tâche : béton pour poteaux, le temps d'exécution en heure homme par  $\text{m}^3$  est  $r=1.32 \text{ h.h}/\text{m}^3$  avec comme matériel un camion et une grue

Ces deux éléments permettent aux chargés d'affaires d'estimer les durées des tâches .

#### B/FEUILLES DE CONTROLE :

Le chargé d'affaire se rend mensuellement sur chantier pour constater l'état d'avancement des opérations. Il présente le pourcentage d'avancement de chaque tâche et déduit ainsi celui de l'ensemble des tâches exécutées jusqu'au mois en cours.

Ces résultats sont présentés sur ladite feuille de contrôle.

### C/POURCENTAGE D'AVANCEMENT :

Le pourcentage d'avancement pour une tâche est déterminé approximativement en considérant :

- 1-la durée prévue pour la réalisation de la tâche
- 2-l'estimation de la durée du travail restant à faire

$$\text{pourcentage d'avancement d'une tâche} = \frac{\text{durée prévue} - \text{durée du travail restant à faire}}{\text{durée prévue}}$$

### D/PLANNING :

En général, le planning désigne le plan de travail détaillé, représenté sous forme de tableaux ou graphiques. Son but est de mettre en lumière les prévisions de réalisation des travaux dans le temps, en donnant les détails les plus exacts possibles concernant les tâches à accomplir: la durée, les effectifs et les différentes liaisons. Il permet aussi, le contrôle et le suivi de l'avancement des activités.

### 2-PROCEDURE DE TRAVAIL:

Avant d'entamer la réalisation d'un projet, il ya lieu de prévoir les ressources nécessaires, les budgets ayant trait au financement du projet et divers plannings servant au suivi de l'avancement du projet. Pour ce faire, l'entreprise utilise le GANTT.

Sur la base de ces plannings prévisionnels, le responsable de chantier entame en premier lieu la construction de la base vie qui comprend : les dortoirs, les réfectoires, les aires de stockage pour les matériaux. Il passe ensuite aux travaux du génie civil, à savoir les terrassements, le bâtiment de commande, la clôture, les massifs, les voies et les caniveaux ;Une fois les massifs terminés, il entame les travaux de montage charpente qui

sont suivis par le montage électrique des équipements haute, moyenne et basse tension; Pour terminer enfin par le contrôle du fonctionnement du poste ainsi réalisé.

## CHAPITRE 2

### DESCRIPTION DU PROBLEME

Pour la préparation et la planification de l'exécution des projets, KAHRAKIS utilise les plannings prévisionnels de type GANTT.

Or, le planning GANTT n'a jamais été une méthode de résolution des problèmes d'ordonnancement (c'est seulement une méthode pour représenter une solution).

De plus la reconstruction de ces plannings devient fort difficile, si le programme de réalisation est sujet à de fréquentes modifications.

De ce fait, nous pouvons dire que jusqu'à aujourd'hui, la Division Méthode et Ordonnancement (DMO) ne fait que constater l'état d'avancement des travaux sans pour autant régler les problèmes de retard; Un retard dont la conséquence immédiate est le non *respect du délai* imparti par le client pour la réalisation des postes de transformation électrique.

Ainsi, la DMO s'est penchée sur ce problème afin d'en cerner les causes, ensuite, tenter d'y remédier.

Et, c'est justement dans cette perspective que vient s'insérer notre modeste contribution.

Sur la base des remarques précédentes, nous pouvons de prime abord, considérer la non efficacité du planning GANTT comme étant une des causes du retard constaté lors de l'exécution des travaux, les informations qu'il fournit étant insuffisantes quant à la prise de mesures correctives.

Par conséquent, pour remédier à cette situation, il faut revenir au point de départ : sachant que le problème consiste en l'ordonnancement des différentes tâches composant le projet, il faut chercher à le résoudre en appliquant une méthode

d'ordonnement répondant à des normes scientifiques. Il s'agit en l'occurrence de trouver une solution qui *réduirait les temps morts et engagerait les moyens nécessaires au moment opportun* dans le souci de respecter le délai de fin de projet. Cette méthode doit donc être capable d'assurer une meilleure organisation des travaux et surtout, fournir les renseignements qui permettent de faire (quand un problème vient perturber le déroulement des travaux tel que prévu par le programme) un choix entre plusieurs solutions possibles mesurables dans leurs conséquences; une méthode qui aide à prendre les décisions .

En fin une méthode qui permet au fournisseur (KAHRAKIB) de présenter au client le programme prévisionnel le plus fiable possible.

En définitive, alliant les périphéries du problème concret comme décrit plus haut, celui-ci s'apparenterait aisément à un problème d'ordonnement; Hypothèse que nous ne saurons mettre plus en exergue sans un exposé de ce type de problèmes, appréhendé à travers des travaux de recherche : les problèmes d'ordonnement, vu d'un angle théorique, constituera donc le thème du chapitre qui va suivre.

# PARTIE.2

## PROBLEMES D'ORDONNANCEMENT

## INTRODUCTION

Les problèmes d'ordonnancement sont importants dans la vie économique .

Pour produire plus ou pour faire plus de bénéfice à un prix aussi bas que possible, il convient d'optimiser le processus de production. C'est pour cette raison que nous nous intéressons aux problèmes d'ordonnancement .

Dans ce qui suit, nous allons d'abord définir les concepts de base relatifs à ce type de problèmes; Ensuite, nous nous proposons de décrire succinctement les divers problèmes d'ordonnancement rencontrés dans l'industrie, en nous attardant sur le cas spécifique de la "production unitaire", objet de notre présente étude.

Les problèmes d'ordonnancement, en tant que problème d'optimisation, sont traités par des méthodes polynomiales, exponentielles (exactes) ou heuristiques, suivant leur nature, c'est à dire d'après la classe de problème à laquelle ils appartiennent, en d'autres termes sa complexité (annexe n° ).

Dans ce chapitre, nous allons également aborder l'essentiel sur les méthodes de résolution des problèmes d'ordonnancement.

## CHAPITRE 1

### CONCEPTS FONDAMENTAUX

#### 1-ORDONNANCEMENT:

Etant donné un objectif qu'on se propose d'atteindre, et dont la réalisation suppose l'exécution préalable de multiples tâches, soumises à de nombreuses contraintes, établir un ordonnancement, c'est déterminer l'ordre et le calendrier d'exécution des diverses tâches.[9]

#### 2-TACHES:

Une tâche est une opération de fabrication, de transformation, ou d'assemblage d'un objet (l'objet étant le produit à réaliser).[15]

#### 3-CONSTRAINTES:

Parmi les nombreuses contraintes qui s'opposent à l'exécution des tâches d'un problème d'ordonnancement, dans un ordre quelconque et à des dates arbitraires, on distingue trois classes:

a/ les contraintes potentielles: Elles englobent:

\*-Les contraintes de succession:

Celles-ci concernent l'ordre relatif dans lequel doivent être exécutées les différentes tâches, soit par exemple, l'exécution de la tâche j ne peut être commencée que lorsque la tâche i est achevée, ou bien lorsqu'elle se trouve à un certain degré d'exécution.

\*-Les contraintes de localisation temporelle: Ces



contraintes permettent de localiser dans le temps chacune des tâches, soit: la tâche i doit être achevée à telle date, ou son exécution ne doit pas commencer avant telle date.

b/les contraintes disjonctives:

Elles imposent la réalisation non simultanée de deux ou de plusieurs tâches, elles apparaissent, par exemple, lorsque deux tâches utilisant la même machine ne pourront pas s'exécuter simultanément.

c/les contraintes cumulatives:

Elles sont relatives à l'évolution au cours du temps des moyens de réalisation des différentes tâches, elles limitent les possibilités d'ordonnement.

Ainsi, l'introduction des contraintes disjonctives et cumulatives est déduite de la prise en considération des différentes *ressources* du problème.

4-RESSOURCES:

Ce sont les moyens nécessaires pour accomplir une tâche, nous distinguons deux types de ressources:

\*-Les ressources renouvelables:

Une ressource est renouvelable si après avoir été allouée à une tâche, elle redevient disponible à la fin de cette tâche, pour être réutilisée par les autres tâches; les ressources renouvelables usuelles sont les machines, les fichiers et le personnel.

\*-Les ressources consommables:

Au contraire, une ressource est consommable si après avoir été allouée à une tâche, elle n'est plus disponible pour les tâches restant à exécuter; c'est le cas pour l'argent et la matière première.

A ces ressources allouées aux différentes tâches, on associe la réalisation d'un certain *objectif*.

5-OBJECTIF:

L'objectif est la fonction économique du problème d'ordonnement considéré; En effet, il faut programmer les tâches, soumises aux différentes contraintes, de façon à optimiser un certain objectif qui sera, suivant le cas, la minimisation de la durée totale (c'est le critère le plus fréquemment employé) ou le respect des dates de commande ou le lissage des courbes de main d'oeuvre, ou encore la minimisation d'un coût.

Ainsi, on dira qu'un problème d'ordonnement est défini lorsque ses différentes données, à savoir : tâches, contraintes, ressources et fonction économique sont déterminées.

Ayant vu comment un problème d'ordonnement peut être défini, nous allons parler maintenant des différents problèmes d'ordonnement qu'on peut rencontrer.

## CHAPITRE 2

### LES DIFFERENTS PROBLEMES D'ORDONNANCEMENT

Les problèmes d'ordonnancement apparaissent dans tous les domaines de l'économie: l'informatique (tâches: jobs ressources: processeurs ou mémoire) la construction (suivi de projet) l'industrie (problèmes d'atelier, gestion de production) l'administration (emplois du temps).

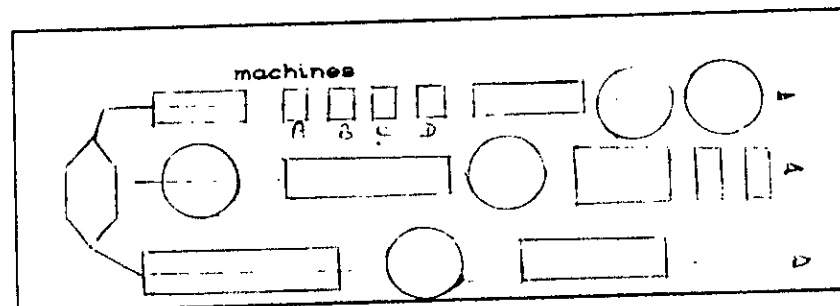
Dans cette partie, nous n'exposerons que les principaux problèmes d'ordonnancement rencontrés dans le domaine industriel.

#### 1-LA PRODUCTION CONTINUE:

Les systèmes de production continue, produisent en grandes quantités des biens standardisés qui sont généralement destinés aux stocks vu que la demande importante est souvent prévisible.

Les produits passent tous par une séquence identique de machines (chaines de production ou fabrication en série) dont l'ordre a été fixé au moment de la conception de la chaîne.

Le processus de production peut ainsi être représenté par le schéma suivant:



chaîne continue de fabrication ou montage

Le raffinage du pétrole , le traitement du minerai de fer, la fabrication de produits chimiques, de ciment et de verre, constituent des exemples pour ce procédé de production.

La production continue est caractérisée par le fait que les modifications des équipements sont rares -étant donné que les tâches ont un caractère répétitif- et les stocks de produits en-cours (entre les différents postes de travail) sont pratiquement inexistantes.

L'ordonnement des systèmes de production continue consiste principalement à établir des *programmes de production pour chaque chaîne de production*. Ainsi, les décisions que le responsable doit prendre visent en général à répondre aux questions suivantes:

-Si la production des biens doit respecter un programme précis de livraison, quel doit être le taux de production de chaque étape?

-Pour chaque période, quel programme de production permet le mieux de concilier le respect des exigences des clients, la reconstruction des stocks de produits finis et la bonne utilisation de la capacité de production?

-Quand on a à fabriquer des modèles différents sur les mêmes chaînes de production, quelles devraient être les dimensions des lots de production de chaque modèle? autrement dit, quelles quantités de produits de chaque modèle faut-il fabriquer à chaque période et quand faut-il procéder aux changements de production?

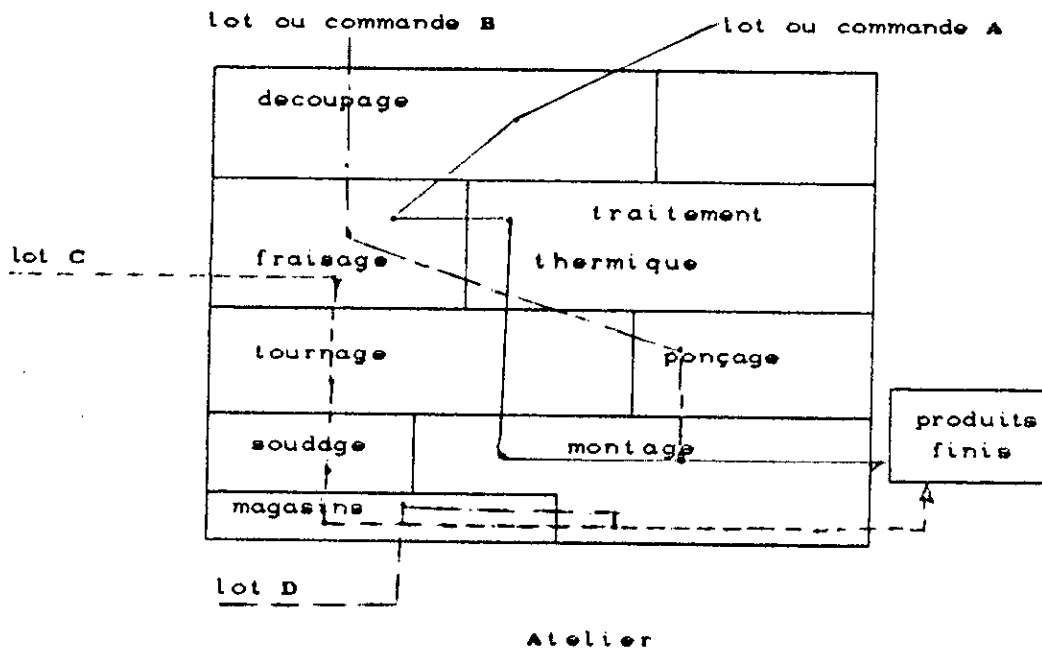
## 2-LES PROBLEMES D'ATELIERS:

Dans un problème d'atelier, les tâches, encore appelées dans ce contexte opérations élémentaires, sont regroupées en

entités appelées postes de travail (ou jobs). L'atelier contient  $m$  machines distinctes, et chaque poste de travail est un ensemble de  $n$  opérations élémentaires réalisées sur des machines regroupées par fonction.

Dans ces ateliers, on produit généralement des biens non standardisés, l'origine de la production reste le plus souvent la commande-client; les commandes des clients représentent généralement de petites quantités, ce qui implique de nombreuses modifications des équipements (réglages nécessaires avant chaque type de commandes), le nombre de cheminements que peut suivre chaque produit est considérable (puisque les différentes étapes de production ne sont pas corrélatives).

Le schéma du processus de fabrication adapté pour ce type de production est le suivant:



La production des équipements industriels, les machines outils et le matériel de travaux publics, constituent des exemples pour ce mode de production. Les modifications courantes apportées à la machinerie ainsi que la variété de cheminement que les différents produits peuvent suivre, font que le système d'ordonnancement et de contrôle sont fort complexes; En effet, le responsable de la production devra définir principalement le *programme de production du poste de travail*. Le programme comprend un calendrier détaillé de toutes les opérations qui devront être effectuées à ce poste; la séquence de production des commandes à chaque opération (établissement d'un ordre de priorité des commandes) est aussi définie.

Au fait, il procède à un ordonnancement visant à réaliser un compromis entre le respect des délais fixés, l'utilisation maximale du matériel et la réduction des en-cours. Il aura ainsi, à prendre les décisions d'ordonnancement suivantes:

-Advenant que plus d'une commande soit en attente à un poste de travail, déterminer l'ordre de traitement des commandes.

-Comme les commandes peuvent généralement suivre divers cheminements à travers les installations de production, déterminer pour chaque commande le cheminement susceptible de minimiser les coûts et les temps de production.

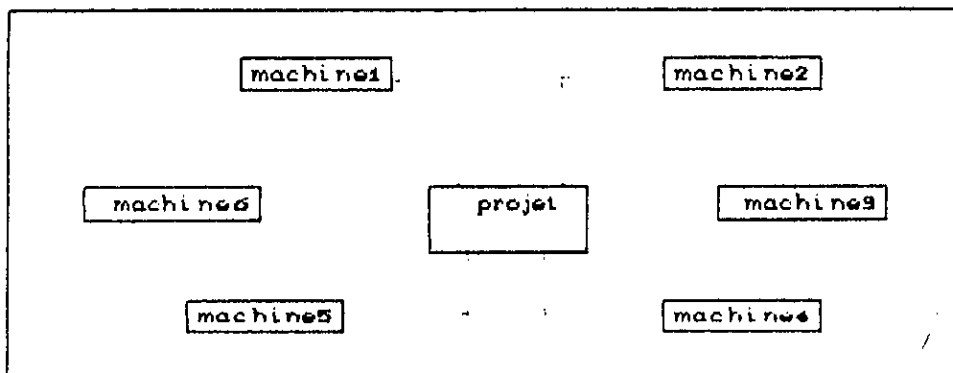
### 3-LA PRODUCTION UNITAIRE:

L'objectif est ici de fabriquer un produit unique ou en très petites séries correspondant à un besoin spécifique. Le processus de production, généralement de longue durée, comprend un nombre important de tâches souvent complexes et fait intervenir différents corps de métiers.

Dans ce mode de production, également qualifié de

production par projet, ce n'est pas le produit qui circule de poste en poste (comme dans le cas des problèmes d'ateliers et de la production continue), mais ce sont les machines et les hommes qui se déplacent pour effectuer les opérations sur le produit.

Soit le schéma suivant:[4]



La production unitaire concerne principalement:

- Les secteurs de bâtiment et travaux publics: ponts, ports, autoroutes, aérodromes.
- Les systèmes d'armement: fusées, chars.
- Les constructions navales et l'aéronautique.
- La construction de gros ensembles: alternateurs, turbines.
- La construction des bâtiments techniques, d'usines, centrales, raffineries, postes de transformation, usine sidérurgique...[2]

Et plus généralement, tout projet de grande envergure.

Les exigences émanant du client pour un tel produit sont souvent impératives en matière de délai et peuvent engendrer en cas de retard des pénalités considérables.

La réalisation d'un tel projet nécessite des ressources

très importantes en équipements et en main d'oeuvre, des corporations très diversifiées choisies à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise (sous-traitance).

L'évolution des travaux obéit à un ordre prédéterminé pour l'exécution des phases (on ne peut poser la toiture avant d'avoir installé la charpente). Cette interdépendance souligne la gravité de tout retard pris à un moment quelconque de certaines de ces phases dites critiques (dont la définition sera donnée dans les chapitres qui suivent).

Les durées des tâches peuvent varier en fonction des moyens mis en disposition : on jouera alors sur l'effectif et le matériel en cas de retard sur l'une ou l'autre phase d'exécution.

Une autre caractéristique du mode de production par projet est que, sur le plan de gestion et de contrôle d'avancement, le projet en tant que globalité est la référence; c'est à dire que l'on s'intéresse plus à l'état d'avancement du produit (objet du projet) qu'à celui de l'état du processus de production, et ce contrairement au mode de production de type atelier où on met plutôt l'accent sur le poste de travail, la longueur des files d'attente, les temps de réglages et d'opérations par poste, ... C'est à dire l'accent principal de gestion est mis sur l'état du système de production.

En conséquence, le problème d'ordonnement pour ce mode de production consistera à faire:

- Une coordination des multiples intervenants
- Une planification des différentes opérations.
- Un contrôle du niveau d'avancement du projet par rapport au planning prévu.



## CHAPITRE 3

### METHODES DE RESOLUTION

Jusqu'en 1958, date à laquelle la méthode PERT a été introduite, les problèmes de délai et de répartition des tâches n'étaient guère abordables en dehors du diagramme de GANTT. Depuis, des méthodes d'une meilleure performance furent développées; les unes sont basées essentiellement sur les graphes, d'autres font appel aux techniques de programmation linéaire; pour n'en citer que celles ci.

Ainsi, dans cette partie, nous essayerons d'aborder succinctement les principales de ces méthodes.

#### I/LE DIAGRAMME DE GANTT:

Le diagramme de GANTT est un graphe de planning et de prévision ayant pour but la mise en évidence des durées relatives aux tâches d'un projet, et permettre ainsi le contrôle à tout moment de l'évolution du projet par comparaison des réalisations aux prévisions.

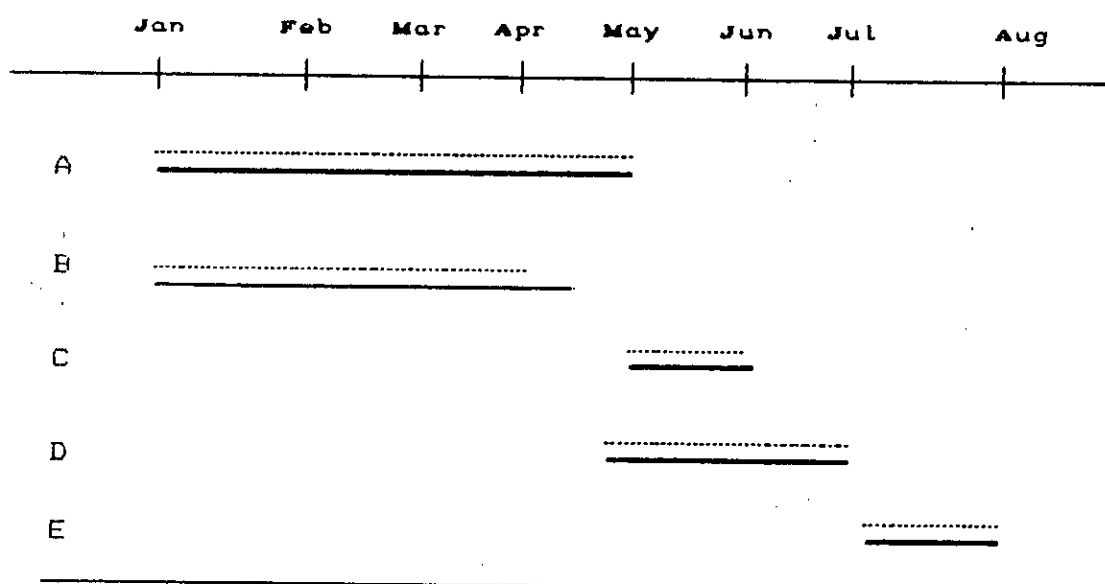
Le diagramme de GANTT se présente sous forme de tableau quadrillé à double entrée, dans lequel chaque colonne correspond à une unité de temps et chaque ligne représente une des différentes tâches du projet. La tâche y est symbolisée par une barre horizontale dont la longueur correspond à la durée de la tâche.

#### a/EXEMPLE ILLUSTRATIF:(19)

Soit un projet quelconque composé de cinq (5) tâches élémentaires dont les caractéristiques sont les suivantes:

| Tâches | Durées prévues<br>(en moi ) | Tâches précédentes | Durées réalisées<br>(en moi ) |
|--------|-----------------------------|--------------------|-------------------------------|
| A      | 4                           | Sans               | 4                             |
| B      | 3                           | Sans               | 3.5                           |
| C      | 1                           | A                  | 1                             |
| D      | 2                           | A, B               | 2                             |
| E      | 1                           | C, D               | 1                             |

Le planning GANTT traduisant le déroulement des opérations dans le temps:



NB: ..... Préviation, ————— Réalisation.

b/AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU DIAGRAMME DE GANTT:

L'avantage unique mais néanmoins considérable de cette méthode est sa simplicité et son accessibilité universelle, puisqu'elle ne demande aucune abstraction, compte tenu de la proportionnalité de la longueur des barres au temps.[4]

Ses inconvénients sont multiples et bien connus, et nous nous contenterons de les évoquer brièvement. Ils ont deux origines: l'inexistence dans la représentation graphique des relations d'antériorité entre tâches, et la prise en compte de l'échelle de temps. En effet, l'absence de représentation des relations d'antériorité fait perdre le fil du procédé technique de réalisation. En outre, le cas d'aléa sur la réalisation d'une tâche nous interdit d'analyser les répercussions de l'aléa sur l'ensemble de la réalisation, et de ce fait, de prendre les décisions adéquates. D'autre part, la prise en compte d'une échelle de temps conduirait au gigantisme

La conjugaison de ces inconvénients laisse entrevoir une conséquence commune: la révision d'un tel diagramme demande sa "mise à plat" quasi intégrale.

## II/LES METHODES POLYNOMIALES:

Par méthodes polynomiales, sont désignés tous les algorithmes dont la fonction complexité est un polynôme en  $n$  (annexe ).

Nous pouvons en décrire les méthodes suivantes:

### 1-LES METHODES DU CHEMIN CRITIQUE:

Sous cet éventail, nous trouvons les méthodes ayant comme principes de base:

-La réalisation d'un modèle graphique décrivant la succession des tâches du projet dès que les différentes contraintes introduites dans le problème (essentiellement les ordres de priorité) ont été rendues compatibles.

-La détermination du meilleur temps requis pour la réalisation de l'ensemble des travaux.

-La localisation du chemin critique. Celui ci constitué de tâches critiques, c'est à dire celles qui ne peuvent être ni retardées ni avancées sans qu'il y ait décalage de la date d'achèvement des travaux.

Parmi ces méthodes, nous pouvons citer le PERT (Program Evaluation and Review Technic), le CPM (Critical Path Method) et d'autres, que nous évoquerons dans ce qui suit en mettant l'accent sur les principales différences.

#### a-METHODE PERT/CPM:

Elaborée en 1957 par MM WALKER de la firme du pont de Nemours et KELLAY de la société Reminton Rand; La méthode CPM (Critical Path Method) fût utilisée pour la première fois lors de la construction d'une usine chimique. Parallèlement, à l'occasion du projet de réalisation des missiles POLARIS par la marine américaine; une autre méthode, le PERT (Program Evaluation and Review Technic) fût mise au point.

A l'époque les deux méthodes (CPM et PERT) différaient sur trois points:

1-Le graphe CPM se construisait à partir de tâches au lieu d'étapes, comme dans le cas du graphe PERT.

2-Le caractère aléatoire des données des tâches n'était pris en compte que dans le PERT; celles ci étant certaines pour le CPM.

3-La méthode CPM a introduit la notion de coûts fonctions des durées.

Toutefois, avec le temps, les deux méthodes, en se proliférant, se sont unifiées et les deux tendances ont commencé à se confondre au point de parler de la méthode CPM/PERT.

## b-METHODE DES POTENTIELS TACHES:

ROY de la société SENA avait conçu sa méthode des Potentiels Tâches Metra (MPM) dont la première application remonte à 1958 pour la construction d'une centrale nucléaire.

Cette méthode différait assez sensiblement du PERT/CPM dans le sens où les tâches étaient représentées par les sommets du graphe et les contraintes de succession des tâches par les arcs flechés.

Le potentiel est utilisé lorsque le projet contient une proportion élevée de contraintes fictives ou de chevauchements. En effet, le potentiel est plus commode à retoucher, mais plus éclaté que le CPM/PERT. Néanmoins, la différence fondamentale entre CPM/PERT et POTENTIELS TACHES réside dans le fait que la première méthode nécessite l'établissement et la manipulation d'un graphe, tandis que l'autre impose le calcul et la modification d'un tableau.

Ainsi, pour le CPM/PERT, la présence d'incohérence au niveau des données, ne pourra être détectée que par la recherche des circuits de valeur positive dans le graphe "evenement-tâches". Par contre, l'établissement du tableau des potentiels tâches est très aisé et n'impose aucune définition préalable des tâches fictives. Quant à la contradiction des données, elle apparaîtra au cours du déroulement de l'algorithme.

## c-LES METHODES SERIELLES:

Les deux méthodes décrites précédemment ne résolvent qu'une partie des problèmes. Elles permettent de minimiser la durée (du projet) lorsqu'on se trouve confronté à des contraintes potentielles, mais ne tiennent pas compte des contraintes de ressources.

Les méthodes sérielles ou "algorithme de liste" sont fondées sur un ordre de priorité entre tâches, permettant de construire très simplement une solution approchée en présence de ressources renouvelables.

Ces méthodes ont pour but d'assurer la compatibilité entre l'ordonnement et les moyens disponibles, en utilisant d'abord les marges des tâches, puis, si nécessaire, en allongeant progressivement le chemin critique.

#### -AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES METHODES SERIELLES:

Pour certains problèmes, les méthodes sérielles fournissent directement la solution optimale, pour d'autres, on connaît une évaluation par excès de la distance à l'optimum, laquelle le plus souvent est difficile à connaître; Il faudra alors compléter les méthodes sérielles par des évaluations par défaut de la solution optimale.

#### 2-LES METHODES DE CIRCUITS CRITIQUES:

Ces méthodes sont utilisées dans le cas où une tâche d'un problème d'ordonnement ne doit pas s'exécuter une seule fois, mais un nombre infini de fois.

Ces problèmes d'ordonnement répétitifs n'ont été étudiés que très récemment (CHRETIENNE -83- COHEN -85-) cependant, ils interviennent souvent; Par exemple: en gestion de production (fabrication en série) et en informatique (ordonnement des tâches associées au calcul d'une fonction).

#### 3-LES METHODES DE PROGRAMMATION LINEAIRE:

Les problèmes d'ordonnement que l'on peut modéliser par un programme linéaire en continu de taille raisonnable sont rares. Il y a de multiples façons de modéliser un problème

d'ordonnement par un programme linéaire en nombres entiers. Dans le cas continu, la technique usuelle est la méthode du simplexe. Dans le cas entier, outre les algorithmes spécifiques aux problèmes de flots, on emploie les méthodes de coupe, de relaxation Lagrangienne ou des méthodes arborescentes.

La programmation linéaire est surtout utile quand les tâches sont morcelables<sup>(\*)</sup> et indépendantes

#### 4-Les méthodes classiques:

Face à un problème d'ordonnement, on peut construire une solution puis tant que cela est possible, l'améliorer par des échanges successives de tâches, en espérant qu'à la fin, la solution soit sinon optimale, du moins proche de l'optimum. Bien entendu, ces méthodes ne constituent le plus souvent que des heuristiques pour le problème considéré. Ces méthodes concernent essentiellement les problèmes de séquençement sur la machine ou poste de travail.

---

(\*) On dit qu'une tâche est morcelable ou que la préemption est possible, lorsqu'elle peut être exécutée par morceaux : une tâche  $i$  est préemptée par une tâche  $j$  à l'instant  $t$  si  $i$  était en cours d'exécution avant  $t$  et employait une ressource allouée à  $j$  à l'instant  $t$  : ce qui provoque ainsi l'interruption de  $i$ .

### III/LES METHODES DE RESOLUTION DE PROBLEMES NP-DIFFICILES:

Lorsqu'on est en présence de problèmes d'optimisation NP-difficiles, il n'est plus possible de construire un algorithme polynomial. Toutefois, on peut mettre au point des méthodes efficaces pour la majorité des énoncés.

Pour certains problèmes, on appliquera la programmation dynamique, pour d'autres, on construira une méthode arborescente.

Ces méthodes utilisent des algorithmes exacts, qui construisent une solution optimale d'un problème d'optimisation.

Les méthodes de programmation dynamique et arborescentes nécessitent un temps d'exécution trop important, c'est pour cela que l'on préfère utiliser des heuristiques, qui donnent des solutions approchées.

#### CONCLUSION:

Dans ce chapitre, nous avons abordé l'essentiel sur les méthodes de résolution des problèmes d'ordonnement. Maintenant, nous avons la possibilité d'opter pour une approche tenant compte des spécificités du problème auquel nous sommes confrontés. Bien entendu, il serait nécessaire, avant tout, de situer le problème en question, en tant que problème d'ordonnement, en se conformant au classement établi au chapitre précédent. Aussitôt, le choix de la méthode sera tâche facile.



# PARTIE.3

## APPROCHE DE RESOLUTION

## INTRODUCTION

Vue la diversité des problèmes d'ordonnement, de part leur nature et méthodes de résolution, il s'agit, avant toute entreprise de solutionnement d'un problème concret, de procéder à certaines démarches préliminaires .

D'abord, situer le problème dans le contexte théorique correspondant et, ce, en respectant ses spécificités de terrain, répertoriées dans le moindre détail: c'est cette opération qui vise à cerner la "problématique" .

Ceci étant, il serait pertinent de choisir, dans la panoplie de méthodes de résolution offertes, celle qui répondrait le mieux à notre problématique. Pour cette phase, une priorité sera accordée aux paramètres de performance de la méthode.

Une fois notre option définie, nous passons au stade "application et interprétation des résultats".

C'est dans cette logique de succession que cette partie sera exposée.

## CHAPITRE 1

### PROBLEMATIQUE

La réalisation des postes de transformation électrique est un processus de production dont l'objectif final est la fabrication d'un *produit unique*.

Pour tous les projets de ce type, réalisés par KAHRAKIB, nous pouvons dégager un ensemble de caractéristiques communes, résumées par :

-Une longue durée de réalisation, généralement supérieure à 24 mois;

-Un nombre très important de tâches qui, d'une façon générale, peuvent être réparties en trois grandes spécialités: Génie Civil, Montage Charpente et Montage Electrique;

-Une multiplicité des ressources utilisées tant matérielles (équipements) qu'humaines (ingénieurs, techniciens de technologie diverses,...etc) intervenant souvent en grand nombre;

-Un ordre d'exécution des travaux prédéterminé ne pouvant être astreint à un quelconque bouleversement;

Toutes ces caractéristiques font de *la réalisation des postes de transformation électrique* un problème qui entre dans le cadre des problèmes de la *production unitaire*.

Ces problèmes sont considérés comme étant des *problèmes polynomiaux*, dans la mesure où il a été démontré que leur résolution peut se faire par un algorithme polynomial (annexe n° 1 )

Les méthodes de résolution les plus répandues pour ce genre de problèmes sont celles du *chemin critique*.

Les durées des tâches du problème étudié ne sont pas

connues avec certitude, elles varient en fonction des moyens disponibles, elles sont donc *aléatoires*.

Le recours à la méthode *PERT* (ou la méthode des potentiels MPM, qui est une de ses dérivées) paraît s'imposer.

Une présentation de cette méthode est donc nécessaire.

Remarquons, tout de même, que dans les paragraphes qui vont suivre, nous désignons par méthode *PERT* le *PERT-TEMPS*, sauf précision complémentaire.

## CHAPITRE 2

### PRESENTATION DE LA METHODE PERT

La méthode PERT est une technique d'ordonnancement, qui fût mise au point en 1958 à l'occasion du projet de réalisation des missiles POLARIS par la marine américaine.

La méthode, à l'époque, ne tenait pas compte des coûts de réalisation du projet, mais donnait la possibilité d'introduire le caractère aléatoire des durées associées aux tâches. Par conséquent, sur les sept années prévues initialement pour la réalisation du projet, un gain de deux années fût enregistré.

Dès lors, la méthode PERT était employée presque partout; de la moyenne à la très grande entreprise. En particulier, le projet APOLLO dont les tâches se comptaient par dizaines de milliers, a été entièrement organisé grâce à la méthode PERT, seule, à l'avis des spécialistes de la NASA et de la North American Aviation, capable de réaliser la coordination complète des tâches de centaines de milliers de personnes dans des centaines d'usines; Enfin, la seule qui permet un contrôle efficace par les directions d'entreprise et d'administration.

#### 1-OBJECTIFS DE LA METHODE PERT:

Le PERT est une méthode consistant à mettre en ordre sous forme d'un réseau, plusieurs tâches qui, grâce à leur chronologie et à leur dépendance, concourent toutes à l'obtention d'un produit fini.[9]

L'objectif primordial de cette méthode peut donc se résumer à l'obtention du chemin critique ou chemin le plus long dont la somme des durées des tâches qui le composent, représente la durée totale du projet. Tout retard sur l'une d'entre elles entraîne automatiquement un ralentissement de la réalisation et

un non respect des délais.

En pratique, l'application de la méthode PERT dépend d'abord des contingences extérieures, comme par exemple, les possibilités de l'entreprise, les exigences du client; Ce qui fait que cette méthode d'ordonnancement vise le plus souvent à atteindre non la durée minimum de réalisation du projet ou l'optimisation de son coût, mais:

-Le meilleur délai, avec un effectif et des moyens déterminés

-Le meilleur délai, avec un budget déterminé.

-Le coût de projet minimum pour un délai donné.

Ces objectifs sont obtenus en paramétrant les résultats précédents; C'est à dire, après établissement d'un ordonnancement, qui est généralement choisi de manière à minimiser le temps total de réalisation des tâches et détermination du chemin critique, on a recours à des programmes d'amélioration de la méthode PERT tels que: "**PERT COST**" et le "**PERT CHARGE**".

## 2-NOTIONS DE BASE:

Un réseau PERT est constitué par des *étapes* et des *tâches*.

### a/DEFINITION:

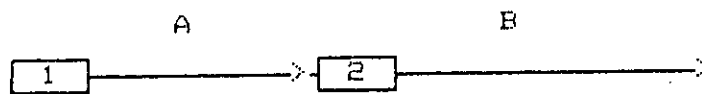
Les étapes (noeuds du réseau) sont les points de départ ou d'aboutissement d'un ou plusieurs arcs (tâches). [4]

### b/REPRESENTATION GRAPHIQUE:

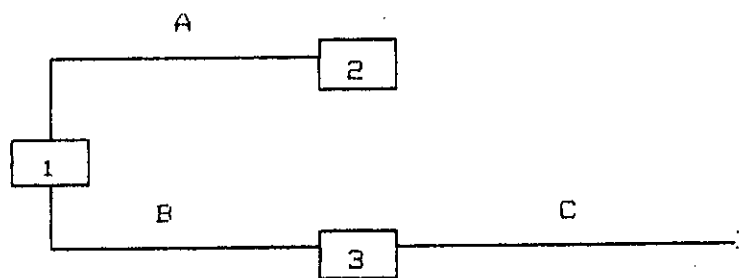
Chaque élément ou tâche nécessaire à la réalisation du projet et qui consomme du temps (durée) est représenté par un arc du réseau .

Les tâches, suivant leur disposition dans le réseau, peuvent être: *successives*, *simultanées* ou *convergentes*.

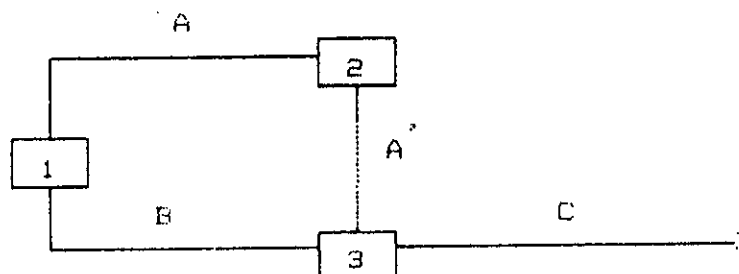
\* Deux tâches A, B sont dites *successives* lorsqu'elles se déroulent l'une après l'autre, séparées par une étape.



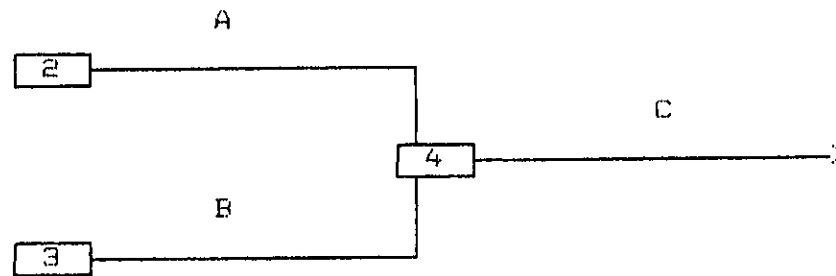
\* Deux tâches A, B sont dites *simultanées* lorsqu'elles peuvent commencer en même temps, en partant d'une même étape.



REMARQUE: Lorsqu'il y a une dépendance entre deux tâches A, B par exemple, la tâche C ne peut commencer que lorsque la tâche A soit terminée. Cette dépendance est représentée par une liaison appelée "*tâche fictive*", représentée dans le graphe par un arc en pointillés.



\* Deux tâches A, B sont dites *convergentes* lorsqu'elles aboutissent à une même étape.



c/DATES AU PLUS TOT-DATES AU PLUS TARD:

DATE AU PLUS TOT: La date au plus tôt d'une étape  $i$  est l'instant le plus proche de l'instant initial où le rendez-vous technique peut être pris

On calcule les dates au plus tôt à l'aide de l'algorithme de FORD.

$$T_1 = 0 ;$$

$$J=1..n ; \quad T_J = \text{MAX} (T_I + T_{IJ}) ; I \in \Gamma^{-1}(J).$$

DATE AU PLUS TARD: La date au plus tard  $T_i$  d'une étape  $i$  est l'instant le plus éloigné de l'instant initial où le rendez-vous technique peut être pris. De même, on calcule les dates au plus tard à l'aide de l'algorithme de FORD.

$$T_n^* = T_n$$

$$I=1..n-1 ; \quad T_I^* = \text{MIN} (T_J^* - T_{IJ}) ; J \in \Gamma^{-1}(I),$$

INTERVALLE DE FLOTTEMENT: L'intervalle qui sépare la date au plus tard de la date au plus tôt d'une étape  $i$  s'appelle *intervalle de flottement* de l'étape  $i$ .

On le note  $F_i$  et est égal à  $(T_i^* - T_i)$ .

C'est l'intervalle de temps dans lequel peut intervenir la réalisation d'un événement  $i$  sans compromettre la durée totale



(minimale) de l'ensemble du projet.[9]

d/MARGES:

Le calcul des marges et l'intervalle de flottement permettent d'évaluer l'élasticité et la souplesse d'un programme. Un programme est d'autant plus rigide que ces valeurs sont réduites, et il est d'autant plus souple, et ces résultats peuvent d'autant plus se prêter à une paramétrisation, que ces valeurs sont élevées.

Marge libre: C'est le retard maximum que l'on peut prendre dans l'exécution d'une tâche sans perturber les dates de début au plus tôt des étapes qui la suivent.[5]

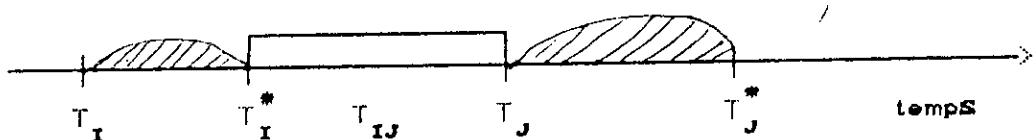


$$ML = T_J^* - T_I^* - T_{IJ} ; \quad T_{IJ} : \text{durée de la tâche (ij)}$$

REMARQUES:

- La marge libre a une incidence sur les tâches descendantes
- Toute tâche critique a une marge libre nulle; mais la réciproque n'est pas vraie.

Marge totale: C'est le retard maximum que l'on peut prendre sur la réalisation d'une tâche, sans perturber les dates au plus tard des événements suivants. [5]



$$MT = T_J^* - T_I - T_{IJ} ; \quad T_{IJ} : \text{durée de la tâche (ij)}$$

REMARQUES:

- La marge totale d'une tâche critique est nulle.
- La marge totale a une incidence sur les tâches descendantes.
- En absorbant toute la marge totale d'une tâche, il y a apparition d'un autre chemin critique.

e/DUREES DES TACHES:

$a_i$ : la durée optimiste; c'est le temps minimal possible dans lequel la tâche i peut être accomplie c'est à dire si tout se déroulait mieux qu'il n'est prévu.[9]

$b_i$ : la durée pessimiste; c'est le temps maximal possible dans lequel la tâche i peut être accomplie; c'est à dire si tout marche mal (les catastrophes exceptées).[9]

$m_i$ : la durée la plus probable; c'est le temps le plus vraisemblable qu'il faudra pour accomplir la tâche i c'est à dire celui qui aurait été indiqué si l'on en avait demandé qu'un au lieu de trois.

$D_i$ : temps moyen que prendrait la tâche i si elle était répétée un grand nombre de fois.

$$D_i = \frac{a_i + 4 m_i + b_i}{6}$$

Remarque:

Pour la résolution du problème d'ordonnement avec la méthode PERT, l'algorithme utilisée pour retrouver le chemin critique est l'algorithme de FORD-FULKERSON, qui est un algorithme de complexité  $O(n^3)$ .

### 3/METHODOLOGIE DE LA METHODE PERT:

La méthode PERT se développe en plusieurs étapes, dont:

a/L'analyse du projet.

b/Détermination du chemin critique et du temps de réalisation du projet.

c/Calcul des intervalles de flottement et des marges opératoires.

#### a/ANALYSE DU PROJET:

L'analyse du projet consiste à recenser les tâches et les contraintes relatives à leur réalisation (les tâches).

Les tâches sont subdivisées plus ou moins selon la précision désirée, de telle sorte qu'il y ait une homogénéité des temps opératoires.

C'est de la qualité de cette analyse, de son degré de précision que dépendent les résultats escomptés.

#### b/DETERMINATION DU CHEMIN CRITIQUE:

La détermination du chemin critique est la recherche, parmi toutes les combinaisons présentées par les enchainements des tâches, de celle dont la somme des temps (durées) est maximale.

#### c/CALCUL DES INTERVALLES DE FLOTTEMENT ET DES MARGES:

Le temps trouvé en b/ n'est pas impératif, les étapes non-critiques tolèrent certains retards, elles s'assortissent de dates au plus tôt, et dates au plus tard et donc d'intervalles de flottement, au cours desquels la réalisation du projet n'est pas perturbée. De même, une tâche non-critique peut avoir une durée

variable dans les limites également définies par l'absence de perturbations dans la réalisation; La durée du projet n'est donc pratiquement pas définie par un temps exact, mais par un temps minimum et un temps maximum et une durée probable.

Il peut s'en suivre une incertitude sur le chemin critique et la nécessité d'en considérer plusieurs.

## CHAPITRE 3

### APPLICATION DE LA METHODE PERT-TEMPS AU PROJET FRENDA

Le projet étudié consiste en un poste simplifié (60/30 KV) qui se trouve à FRENDA wilaya de TIARET; D'où la dénomination "projet FRENDA". Ce projet est en cours de réalisation .

L'ouverture du chantier, c'est à dire la date de début du projet remonte au 1<sup>er</sup> DECEMBRE 1990.

Cette partie de notre travail concerne l'élaboration du PERT-TEMPS.

#### I-METHODOLOGIE D'APPROCHE:

Pour une première approche de résolution de notre problème, nous avons adopté la méthodologie classique du PERT-TEMPS exposé au chapitre précédent.

Nous avons en l'occurrence procédé selon les étapes qui suivent:

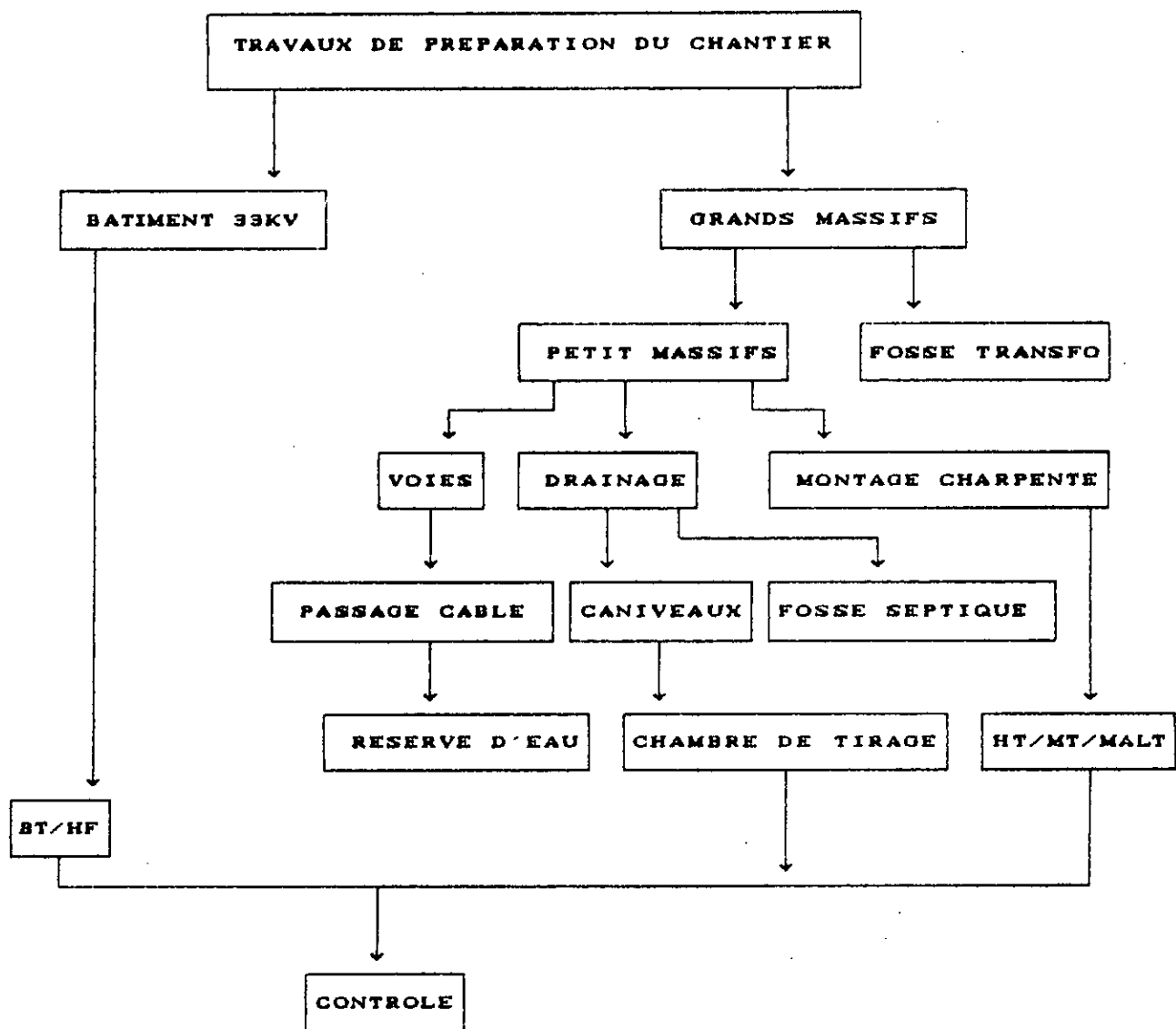
#### 1-ETABLISSEMENT DE LA LISTE DES TACHES AVEC LES RELATIONS D'ANTERIORITE

La liste des différentes tâches du projet FRENDA, ainsi que les différentes relations d'antériorité existant entre ces tâches étaient préparées par les responsables de la Division Méthodes et Ordonnancement.

Ces tâches sont regroupées en deux grandes parties : Génie Civil et Montage.

La partie Génie Civil est composée des travaux de préparation du chantier; Des travaux de réalisation : du bâtiment 33kv, des grands massifs, des fosses transformateur et septique, du drainage, des caniveaux, de la chambre de tirage, des voies, de la réserve d'eau et du gravillonnage.

La partie montage, quant à elle, regroupe les travaux de montage charpentes, de montage électrique (haute, moyenne et basse tension; la mise à la terre MALT et la haute fréquence HF) et les travaux de contrôle à la fin de la réalisation du projet. Les relations d'antériorité existant entre les tâches peuvent être résumées selon l'organigramme suivant :



## 2-ESTIMATION DES DUREES :

Pour pouvoir déterminer la durée moyenne prévisionnelle de chaque tâche, nous avons estimé pour chacune d'elles trois temps :

-Un temps optimiste, qui est le temps d'exécution minimal d'une tâche lorsqu'on ne trouve aucune difficulté lors de l'exécution.

-Un temps pessimiste, qui est le temps maximal d'exécution d'une tâche lorsque celle-ci se réalise dans des conditions difficiles (panne de matériel, absences du personnel ...).

-Un temps plus probable qui est le temps le plus souvent réalisé pour l'exécution de la tâche.

Cette estimation a été obtenue en consultant les chefs de projets.

Nous avons ensuite calculé les durées moyennes et les variances . Nous notons cependant, que les estimations des durées données par ces responsables sont très compatibles, c'est à dire que pour un temps donné (pessimiste, optimiste ou plus probable) d'une certaine tâche, la valeur estimée diffère très peu d'un chef de projet à l'autre; Ce qui nous a permis de retenir facilement l'estimation donnée .

Toutes ces données sont représentées dans le tableau n° 2, en annexe n° 2

Par la suite, nous passons à la phase "application" de la méthode PERT, moyennant le logiciel PROJECT.

## II-APPLICATION:

L'utilisation du logiciel PROJECT nous permet d'obtenir comme résultats:

### 1-RESEAU PERT:

Le réseau PERT apparait sur l'écran PERT du logiciel PROJECT, il représente la succession logique des différentes tâches du projet; Il fait ainsi apparaitre le chemin critique .

Dans le cas de FRENDA, le chemin critique est composé de 16 tâches représentées en double trait sur le réseau. Ces tâches, citées par ordre de succession, sont: terrassement(2), excavation de la fondation(5), excavation des grands massifs(38), excavation des petits massifs(53), excavation du drainage(60), gros béton(61), pose de buses(62), excavation regard de drainage(64), excavation caniveaux(71), béton de propreté(72), ferrailage-mise en place(74), coffrage(75), béton(76), tirage câbles basse tension(134), raccordement basse tension(135) contrôle KAHRAKIB(136).

### 2-DATE PREVISIONNELLE D'ACHEVEMENT DES TRAVAUX:

La date finale prévisionnelle d'achèvement des travaux du projet FRENDA, est donnée par la date de fin de la dernière tâche (136), soit le 29 Avril 1992 à 17h 00; La date de début des travaux étant le 1/12/1990, on compte alors un délai d'achèvement de 17 mois (370 jours ouvrables : l'entreprise compte 8h de travail par jour et 5 jours ouvrables par semaine).

Aussi, pour chaque tâche, nous pouvons avoir (grâce au logiciel

PROJECT) la date de début et de fin au plus tôt et au plus tard, ainsi que le battement.

Ces résultats figurent dans le tableau n° 3 de l'annexe n° 4 .



### 3-DIAGRAMME DE GANTT:

Le logiciel PROJECT permet aussi de convertir le réseau PERT en un diagramme GANTT, sur lequel les tâches critiques sont toujours représentées en double trait, et les battements en pointillés.

Cette conversion est très utile, dans la mesure où la représentation de ces résultats sous forme de plannings GANTT est facilement compréhensible par les exécutants, de part sa clarté et sa simplicité; Elle permettrait aussi une certaine facilité dans le contrôle et le suivi de l'avancement des travaux du projet, ce, grâce à l'écran "analyse" qui permet de sauvegarder le planning prévisionnel pour pouvoir le comparer au planning courant.

### 4-CALCUL DES PROBABILITE

Ayant admis que la durée d'exécution du projet est une variable aléatoire distribuée suivant la loi normale, il est donc intéressant d'évaluer la probabilité d'achever le projet à une date D donnée, et en particulier à la date donnée par le PERT-TEMPS: 370 jours.

Pour calculer ces probabilités, il faut d'abord avoir l'écart

type de la durée d'exécution du projet:  $\sqrt{\sum \sigma_i^2} = \sigma$  où  $\sigma_i$

représente l'écart type d'une tâche critique.

Soit le tableau n°1 suivant:

en annexe n° 5

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau n° 4. Faisons maintenant varier la date D autour de la valeur moyenne prévisionnelle T et calculons cette probabilité.

$$P(t \leq D) = P\left(\frac{t-T}{\sigma} \leq \frac{D-T}{\sigma}\right) = P(Z \leq 0) = 0.5 = 50\%$$

est donc égale :

La probabilité d'achever les travaux du projet à la date D = 370

$$\sigma = 1.378$$

| lâche critique | a   | m   | b   | d   | variance |
|----------------|-----|-----|-----|-----|----------|
| 2              | 7   | 8   | 9   | 8   | 0.11     |
| 5              | 4   | 4   | 4   | 4   | 0        |
| 38             | 8   | 8   | 8   | 8   | 0        |
| 53             | 8   | 8   | 12  | 8.6 | 0.44     |
| 60             | 4   | 4   | 4   | 4   | 0        |
| 61             | 4   | 4   | 4   | 4   | 0        |
| 62             | 4   | 4   | 8   | 4.6 | 0.44     |
| 64             | 2   | 2   | 4   | 2.4 | 0.11     |
| 71             | 2   | 2   | 4   | 2.4 | 0.11     |
| 72             | 2   | 2   | 2   | 2   | 0        |
| 74             | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 0        |
| 75             | 4   | 4   | 4   | 4   | 0        |
| 76             | 4   | 5   | 8   | 5.4 | 0.44     |
| 134            | 3   | 3   | 3   | 3   | 0        |
| 135            | 7   | 8   | 10  | 8.2 | 0.25     |
| 136            | 4   | 4   | 4   | 4   | 0        |

Ainsi, on dira qu'il y a peu de chance que la date de fin de projet soit atteinte en 360 jours (probabilité = 7.35% ); Par contre, le délai de 380 jours, peut être respecté avec 92.647 % de chances; Et la réalisation du projet en 400 jours aura une probabilité de 100 % .

### III-INTERPRETATION DES RESULTATS:

Le projet FRENDA a commencé le 1/12/1990 et devait finir d'après les résultats du PERT LE 29/04/1992.

Dépendant, nous sommes au mois de septembre et les travaux ne sont pas encore achevés.

D'après les chargés d'affaires, la durée de réalisation d'un poste simplifié varie généralement entre 22 et 26 mois .

Nous noterons que le logiciel PROJECT permet dans ces cas de retard de faire le suivi des travaux :

En effet, le chargé d'affaire pourra contrôler l'avancement des travaux en utilisant le champ "date d'aujourd'hui" (annexe n° 3 ) qui permet de spécifier la date courante. Il obtiendra comme résultat, dans le champ "achevé à", le degré d'avancement de chaque tâche signifiant qu'à la date courante l'opération sélectionnée devrait à présent être exécutée à x % (x étant le pourcentage affiché dans le champ "achevé à" ); Ce planning sera par la suite, retenu comme étant un planning prévisionnel pour pouvoir le comparer au planning courant (l'écran analyse se charge de la comparaison) dans lequel on porte les corrections nécessaires, c'est à dire, pour les tâches qui n'ont pas commencé à la date prévue (par le PERT ), on remplacera cette date par celle à laquelle la tâche a réellement débuté, le planning sera aussitôt révisé de manière à indiquer le vrai pourcentage d'avancement des tâches commencées, et les dates de début des tâches restantes; Nous pouvons ainsi surveiller le déroulement des travaux qui restent à accomplir .

Toutefois, les seules données disponibles au niveau de l'entreprise quant aux dates réelles de commencement des tâches,

concernent un nombre restreint de tâches : ce sont les deux tâches 5 et 6 de la partie fondation :

| tâche | date prévue par le PERT | date de commencement réelle |
|-------|-------------------------|-----------------------------|
| 5     | 26 janvier 1991         | 20 mars 1991                |
| 6     | 29 février 1991         | 20 mai 1991                 |

| % d'avancement prévisionnel | % d'avancement réel |
|-----------------------------|---------------------|
| 100% (tâche 5)              | 100%                |
| 100% (tâche 6)              | 100%                |

la date courante (mentionnée dans le champ "date d'aujourd'hui") étant le 1 septembre 1992.

Ces données étant insuffisantes quant au suivi réel de tous les travaux du projet; En effet pour le faire, il faut avoir mensuellement (si on désire faire le suivi des travaux chaque mois) la date réelle de commencement pour toutes les tâches composant le projet.

Ce que nous pouvons remarquer aussi dans les résultats que nous avons obtenus, ce sont les valeurs des variances des durées qui sont pratiquement très faibles (nulles pour plusieurs durées).

Or, la variance mesure le degré d'incertitude des estimations de temps (plus grande est la variance, plus grande sera l'incertitude).

Cette faible valeur des variances résulte du fait que les trois estimations de temps (a,b,m) sont en général égales, ou très peu différentes; Ce, parceque la tâche n'est commencée que si ses moyens sont tous disponibles.

En fait, la différence qu'il ya entre a, b et m pour certaines tâche résulte le plus souvent d'une panne de matériel, ou d'une absence du personnel inattendues.

Le retard résultant d'un manque de matériel n'est pas

comptabilisé dans le temps pessimiste (du moment que la tâche ne commence que si ses moyens sont présents); C'est donc un retard de commencement et non un retard de durée.

En fin, la faible valeur trouvée des variances, montre, que nous avons une bonne estimation quant au temps de réalisation d'une tâche.

#### CONCLUSION:

Dans cette partie, nous avons abordé le problème d'ordonnement d'un angle strictement réduit, puisque le seul critère d'appréciation adopté était "les durées des tâches". Une telle vision du problème demeure cependant tronquée, dans la mesure où la tâche est soumise à d'autres contraintes telles "la disponibilité des ressources humaines et matérielles" nécessaires à son exécution, contrainte qui ne saurait être négligée.

Ainsi, nous serons amenés à une reconsidération plus objective de la problématique en question en dépit des résultats obtenus, estimés "bon".  
Ce à quoi nous nous étalerons dans les prochains chapitres.

# PARTIE.4

## AMELIORATION DU PERT-TEMPS

## INTRODUCTION

Les méthodes du chemin critique, en général, supposent des moyens infinis et omettent les limitations effectives en moyens de réalisation. En effet, lors de la préparation de la planification, on affecte à chaque tâche les moyens prévisionnels nécessaires pour calculer sa durée, négligeant ainsi le problème de disponibilité de ces moyens.

La méthode PERT, en particulier, n'était pas à l'origine une méthode complète d'ordonnancement, dans la mesure où elle ne traitait que les problèmes de délai.

Cette méthode a été donc dénommée PERT-TEMPS. [11]

Ultérieurement, diverses améliorations ont été mises au point, tenant compte de la limitation des moyens de réalisation, à savoir, capacité de l'entreprise en effectif, matériel et matériaux; On lui a donc adjoint un complément: le PERT-CHARGE;

Le PERT-CHARGE calcule, pour chaque période, la quantité de chaque ressource que la logique du placement PERT conduit à demander; Un opérateur humain, examinant les résultats, adapte alors ces moyens ou modifie les durées des tâches initialement prévues: on recommence une nouvelle simulation jusqu'à ce qu'un résultat satisfaisant soit obtenu.

La présente partie, pièce charnière de notre étude, s'attachera, par conséquent, à améliorer les résultats fournis par le PERT-TEMPS appliqué au projet FRENDA, par souci de considération d'un maximum de contraintes pratiques.

Passant par le logiciel PROJECT, une série d'astraites objectives nous inciteront à engager une tentative d'automatisation de l'affectation des ressources, couronnée par l'élaboration d'une procédure heuristique.

## CHAPITRE 1

### APPLICATION DU PERT-CHARGE:

Le fonctionnement des programmes d'amélioration débute par une étape qui consiste à réunir les données destinées à modéliser le problème que nous souhaitons simuler. Elles concernent les tâches, les contraintes qui les lient, les ressources nécessaires et disponibles et les objectifs.

L'utilisateur passera ensuite à l'application proprement dite des différentes techniques de ces programmes.

Pour appliquer le programme PERT-charge, nous avons adopté la démarche suivante:

-Nous commençons par collecter toutes les données concernant les ressources humaines et matérielles, à savoir la disponibilité et les besoins pour chaque tâche;

-Ensuite, nous introduisons les données dans le logiciel, pour chaque tâche: nous donnons la quantité de chaque ressource utilisée, et pour chaque ressource, nous précisons la disponibilité (la capacité de l'entreprise en cette ressource).

#### I-AFFECTATION DES RESSOURCES PAR LE LOGICIEL "PROJECT":

Le logiciel "PROJECT" possède sept écrans: Activité, Analyse, Pert, Ressources, Calendrier (deux écrans) et l'écran Regard. L'écran Regard permet de visualiser les histogrammes des différentes ressources humaines et matérielles. Pour chaque type de ressources, l'histogramme affiche toutes les tâches qui l'utilisent. L'importance de l'histogramme réside dans le fait qu'il permet une visualisation du dépassement de capacité, c'est à dire les périodes pour lesquelles les besoins excèdent les disponibilités. (annexe 9)



## 1. ALGORITHME D'AFFECTATION DES RESSOURCES:

Pour remédier au problème de dépassement de capacité, il faut:

- 1-Noter la liste des tâches utilisant la ressource en question;
- 2-Voir les tâches non critiques et noter leurs marges; pour cela il faut revenir à l'écran Activité ou Pert;
- 3-Prendre la tâche qui possède la plus grande marge et changer sa date de début au plus tôt. Nous choisissons cette nouvelle date dans la marge autorisée. Il faut à chaque fois vérifier qu'en plaçant cette tâche à la date choisie, il n'apparaît pas un autre dépassement. Cela signifie qu'il faut trouver un emplacement entre deux tâches utilisant cette même ressource et dont la différence entre la date de début, de la deuxième et la date de fin de la première est supérieure ou égale à la durée de la tâche à laquelle on veut changer de date de début).
- 4-Si cet emplacement n'existe pas, il faut chercher, parmi les autres tâches, une seconde tâche non critique et essayer de lui trouver une autre date de début dans sa marge autorisée, mais il faut toujours s'assurer que la date choisie ne fait pas apparaître sur l'histogramme un autre dépassement.
- 5-Reprendre l'étape 4 jusqu'à détection du bon emplacement.
- 6-Rayer la tâche placée de la liste et refaire le travail en revenant à l'étape 3.
- 7-Dérouler la procédure, de 1 à 6, pour chaque ressource présentant un problème de dépassement de capacité.

## 2. ESSAI D'APPLICATION:

L'algorithme de simulation pas à pas que nous venons de décrire, nous l'avons déroulé sur le logiciel PROJECT. Pour le cas particulier du projet FRENDA, grâce aux nombreux histogrammes qui présentaient un dépassement de capacité, nous avons entrepris un nivellement des différents moyens.

Nous avons commencé à le faire pour une seule ressource, choisie parmi celles dont le pique de l'histogramme a dépassé la capacité d'une façon très remarquable.

Nous avons dressé la liste des tâches affichant le plus grand pique et nous avons commencé la simulation.

Le temps très important (trois jours) qu'a nécessité ce travail pour *une seule ressource* et pour seulement un *nombre restreint de tâches*, nous a poussé à noter certaines conclusions préliminaires, que nous avons dû situer à des niveaux divers :

- Sur la base des limites de moyens humains et matériels fixés par l'entreprise pour le projet 60/30kv, le dépassement de capacité apparaît pour *plusieurs* ressources et d'une *façon remarquable (pique important)*.

- Le chargé d'affaire aura donc à intervenir *continuellement*, après chaque résultat donné par le PERT-temps (chemin critique), pour effectuer la *simulation "manuelle"*.

- D'autre côté, la multiplicité des travaux à planifier et par conséquent des moyens de réalisation pour un poste haute tension 60/220 et très haute tension 30/60/220 (dont le nombre de tâches arrive à 400) rend très vite l'exécution manuelle impossible tant à cause des erreurs qui sont pratiquement inévitables (du fait de l'affichage permanent des différents écrans permettant la simulation) qu'en raison du temps nécessaire à cette exécution.

En effet, comparé au temps que prend le logiciel pour donner

la solution optimale -chemin critique- (résultat fourni en quelques secondes), le temps de cette simulation semble trop important.

À ce niveau de détail, il y a lieu de s'enquérir de l'aspect ergonomique de l'opération: la simulation manuelle, telle que mentionnée plus haut, consiste en la répétition des mêmes manipulations donnant lieu à chaque fois à une même succession d'écrans, visualisant ainsi une approche "trop lente" de la solution.

Ceci ne tardera pas à engendrer (chez le chargé d'affaire) un sentiment de "lassitude" en raison du temps de simulation relativement important, confronté à un état d'esprit des utilisateurs de l'outil informatique, lequel se trouve réputé pour sa rapidité quant à fournir l'information nécessaire pour une prise de décision. Ainsi, la fiabilité du logiciel se trouve altérée.

Ceci étant, et notre présente étude se trouvant limitée dans le temps, nous avons pensé qu'une automatisation de cette phase serait indispensable;

## II-AUTOMATISATION DE L'AFFECTATION DES RESSOURCES:

L'automatisation de l'affectation est, à notre avis, la meilleure alternative pour diminuer, la fréquence d'intervention du chargé d'affaire et éviter une trop grande qualification (spécialisation informatique) pour effectuer ce travail.

Pour tenir compte des contraintes cumulatives, les chercheurs ont développé plusieurs procédures; Certaines sont basées sur les méthodes sérielles, d'autres sur les méthodes de répartition. Ces dernières sont relatives à une seule catégorie de moyens, comme par exemple l'heuristique de Burgess et Killebrew. (annexe 6).

Les méthodes sérielles sont plus nombreuses.

Le principe de ces méthodes est de considérer à chaque unité de temps, la totalité des besoins et des ressources disponibles et d'affecter ensuite les ressources (quand elles sont suffisantes) aux différentes tâches présentes (tâches dont la date de démarrage au plus tôt est arrivée) en fonction de certaines priorités (exemple: priorité 1 aux tâches critiques).

Ces méthodes peuvent être utilisées pour plusieurs catégories de moyens, elles sont donc plus générales et plus adaptées à notre problème; Où plusieurs catégories de moyens humains et matériels présentent un problème de dépassement de capacité.

### 1. TENTATIVE D'AUTOMATISATION PAR UNE METHODE EXACTE:

Se conformant au principe des méthodes décrites plus haut, une première allure de la problématique laisserait entrevoir un problème de sac à dos (Knapsack problem), où les objets à ordonnancer sont les ressources et les sacs représentés par les marges des tâches non critiques.

Pour chaque ressource, nous avons une certaine disponibilité et une certaine quantité nécessaire. La disponibilité étant l'utilité de l'objet, la quantité nécessaire traduite en durée d'exécution de la tâche étant son poids.

Mais en réalité, le problème n'est pas si simple, puisqu'il revêt une double dynamique:

-Dynamique des "temps": Dans un problème de sac à dos ordinaire, le sac possède une capacité maximale qui ne doit en aucun cas être excédée; Dans notre problème, les délais (les marges) peuvent être allongés (dépasseés) si nous ne disposons pas de tous les moyens nécessaires pour l'exécution de la tâche sélectionnée;

-Dynamique des "ressources": C'est le critère de

substituabilité des ressources qui pourra changer la notion d'utilité des objets: Une ressource peut avoir plusieurs utilités.

En plus des deux aspects sus-cités, certaines contraintes, telles le système de priorité des tâches, la libération des ressources (restitution des objets à classer) ne peuvent être formulées mathématiquement, ce qui rend le problème encore plus complexe.

Par conséquent, nous pouvons déduire que toute formulation mathématique du problème devient impossible et la seule approche de résolution résiderait dans l'élaboration d'une procédure heuristique basée sur le principe des méthodes sérielles.

## 2. AUTOMATISATION PAR UNE PROCEDURE HEURISTIQUE:

Pour élaborer une heuristique qui soit la plus générale possible, nous avons choisi d'établir un programme d'affectation des ressources se basant sur le principe de la méthode sérielle. Cette heuristique utilisera comme input les résultats du PERT-temps (dates au plus tôt et au plus tard, chemin critique) avec comme données les disponibilités et les besoins pour chaque tâche de chacune des ressources et devra donner comme résultat (output) de nouvelles dates prévisionnelles de commencement des différentes tâches et la durée totale du projet après cette affectation.

C'est là une procédure d'amélioration de la méthode PERT, automatisant l'affectation des ressources. Une explication détaillée du fonctionnement de l'heuristique est donc nécessaire.

## CHAPITRE 2

### HEURISTIQUE D'AMELIORATION DU PERT:

#### I-DONNEES POUR LA MODELISATION:

Pour modéliser le problème, nous devons rassembler certaines données.

1. LES TACHES: auxquelles des dispositions particulières seront envisagées, dont:

- Numérotier les tâches (tableau numéro 6 en annexe n° 7)
- Durée de la tâche (tableau numéro 5 en annexe n° 7)
- Date au plus tôt et date au plus tard de la tâche (annexe 4)
- Ressources nécessaires pour chaque tâche (annexe 7 sur tableau 5)

#### 2. LES RESSOURCES DISPONIBLES:

-Pour chaque ressource on donne la quantité disponible (la quantité que l'entreprise peut affecter au projet à étudier).

-Possibilité de substituer une ressource à une autre: cela veut dire qu'une ressource A peut être utilisée comme ressource B, si elle n'est pas occupée dans sa spécialité. Pour le projet FRENDA, nous avons retenu un seul cas de substitution pour l'ensemble des ressources présentant le problème de dépassement de capacité: c'est la substitution ouvriers qualifiés-manoevres: un ouvrier qualifié peut faire le travail d'un manoeuvre s'il n'est pas occupé dans sa spécialité.

-Les ressources sont classées par rareté croissante (tableau 5 en annexe 7)

#### 3. LA POLITIQUE:

La politique étant l'ensemble des éléments et des logiques permettant de guider le raisonnement; C'est le mode de

raisonnement.

Il s'agit dans la pratique de choisir les règles de classement des tâches par un système de priorité.

#### PREMIER CRITERE:

Dans notre programme, nous avons donné la première priorité aux tâches critiques: si nous ne trouvons pas de moyens pour réaliser la tâche critique, nous devons interrompre une des tâches non critiques possédant une marge suffisante pour la réalisation de la tâche critique.

#### DEUXIEME CRITERE:

La deuxième priorité est donnée aux tâches possédant la plus petite marge, cela veut dire qu'en l'absence d'une tâche critique, les tâches sont classées par ordre de leurs dates au plus tard croissantes.

#### TROISIEME CRITERE:

Le troisième critère de priorité concerne les tâches de plus faibles durées (elles libèrent rapidement leurs moyens); Cela signifie qu'en présence d'un ensemble de tâches possédant la même date au plus tard, nous affectons les ressources à celles possédant la plus petite durée.

#### QUATRIEME CRITERE:

Enfin, si nous avons un ensemble de tâches de même date au plus tard et même durée, nous affectons les moyens à la tâche portant le plus petit numéro.

#### REMARQUE:

Normalement, un ensemble de tâches non interrompables -de part leur nature physique et technique- doit être défini avant le début de l'affectation.

Mais pour le projet FRENDA, la seule tâche qui ne peut être interrompue est la dalle du bâtiment 33kv; Or celle-ci ne dure qu'une seule journée, elle ne peut donc figurer dans la liste des tâches "candidates" pour interruption (car notre unité de temps étant la journée).

#### 4. TRAITEMENT POUR CHAQUE UNITE DE TEMPS:

Après avoir classé les données, le programme va procéder à la simulation en opérant une série de pas de classement et d'affectation de ressources à chaque unité de temps en commençant par la première: à chaque cycle, il considère la totalité des besoins et des ressources en présence, et affecte les ressources aux besoins en fonction des priorités.



1  
C

ALLOUER LES RESSOURCES SANS POLYVALENCE AUX TACHES DE PRIORITE.

POUR CHAQUE PRIORITE FORTE, LE PROGRAMME INFORMATIQUE :

- CONSIDERE LES PREMIERES TACHES COMMENCABLES (CELLES DONT LA DATE DE DEBUT EST ARRIVEE).

- CHERCHE LES RESSOURCES NECESSAIRES POUR LES OCCUPER.

- CHERCHE LES RESSOURCES DISPONIBLES DANS L'UNITE DE TEMPS PRESENTE.

- COMPARE LES NIVEAUX : RESSOURCES NECESSAIRES ET RESSOURCES DISPONIBLES.

SI LE NIVEAU EST SUFFISANT, IL AFFECTE LES RESSOURCES NECESSAIRES ET PRCOEDE DE MEME POUR LA DEUXIEME RESSOURCE.

SI LE NIVEAU EST INSUFFISANT, IL PLACE LES TACHES EN ATTENTE.

B

LE CALCUL ET LE TRI DES MARGES SELON L'OBJECTIF QUE NOUS VOULONS ATTEINDRE ET LE SYSTEME DE PRIORITES CHOISI.

INTRODUCTION DES DONNEES : TACHES, RESSOURCES, OBJECTIF ET DEFINITION DES PRIORITES.

CHOIX D'UNE POLITIQUE

COLLECTE DES DONNEES

A

II-ORGANIGRAMME EN BLOCS DE L'HEURISTIQUE:

ALLOUER LES RESSOURCES AVEC POLYVALENCE  
TOUJOURS POUR LES TACHES DE FORTE PRIORITE.  
AYANT PROCÉDÉ DE LA MANIÈRE BC POUR TOUTES LES  
TACHES DE FORTE PRIORITE.  
L'ORDINATEUR VA REFAIRE LE CYCLE EN UTILISANT  
LES SUBSTITUANTS.

A L'ISSUE DE CE CYCLE, NOUS OBTENONS UNE  
PARTITION DES TACHES DE LA PREMIÈRE PRIORITE  
EN:

1/TACHES OCCUPEES: AUXQUELLES NOUS AVONS PU  
AFFECTER DES RESSOURCES.

2/TACHES NON OCCUPEES, DEVANT ÊTRE REPOUSSEES A  
L'UNITE DE TEMPS SUIVANTE.

3/LES RESSOURCES RESTANTES (DISPONIBLES).

LE CYCLE BCD EST REPÉTÉ POUR CHACUNE DES  
PRIORITES FORTES

D

ALLOUER LES RESSOURCES SANS POLYVALENCE  
(SUBSTITUANT) AUX TACHES A FAIBLES PRIORITES.  
NOUS POUVONS FAIRE LA MEME CHOSE QUE LE  
CYCLE BC.

E

ALLOUER LES RESSOURCES AVEC POLYVALENCE  
AUX TACHES A FAIBLES PRIORITES.  
POUR L'ENSEMBLE DES TACHES COMMENCABLES A  
FAIBLE PRIORITE ET QUI NE SONT PAS ENCORE  
OCCUPEES, NOUS FAISONS LA MEME CHOSE QUE CD.  
APRES TRAITEMENT, ON OBTIENT TOUJOURS:  
-LES TACHES OCCUPEES.  
-LES TACHES NON OCCUPEES.  
-LES RESSOURCES DISPONIBLES (NON AFFECTES).

F

LE CYCLE AF EST REFAIT A CHAQUE UNITE DE TEMPS  
JUSQU'A LA FIN DU PROJET.  
LES RESSOURCES ETANT RENOVELABLES, NOUS NOTONS  
ALORS A CHAQUE UNITE DE TEMPS LES TACHES  
ACHEVEES ET PAR CONSEQUENT LES MOYENS QU'ELLES  
RENDENT DISPONIBLES.

G

EDITION D'UN RAPPORT:  
POUR CHAQUE CYCLE AF NOUS POUVONS EDITER UN  
RAPPORT DES DECISIONS D'AFFECTION PRISES PAR  
L'ORDINATEUR, LE RAPPORT DONNERA:  
-LE NOMBRE D'UNITES DE TEMPS RESTANT A OCCUPER,  
-LES DECISIONS D'AFFECTION, L'AVANCEMENT DU  
TRAVAIL,  
-LES TACHES NON OCCUPEES,  
-LES RESSOURCES NON AFFECTEES.

H

EDITION D'UN PLANNING:  
A LA FIN DU TRAVAIL, NOUS IMPRIMONS, LE  
PROGRAMME DE TRAVAIL RESULTANT DE CETTE  
SIMULATION.

I

CONTROLE DES RESULTATS  
AVEC LA SIMULATION.

L'EXAMEN DES DOCUMENTS PERMET AU CHARGE  
D'AFFAIRE DE DECIDER S'IL EST NECESSAIRE DE  
RELANCER UNE AUTRE SIMULATION EN MODIFIANT LES  
DONNEES ET LA POLITIQUE.

J

### III-ALGORITHME D'AFFECTATION DES RESSOURCES :

ETAPE.0.  $H:=0$ , Date de début du projet, aller à (1);

ETAPE.1. Recherche de l'ensemble des tâches ayant une date de début au plus tôt inférieure ou égale à  $H$ , dans l'ensemble des tâches qui n'ont pas encore commencé ou dans l'ensemble des tâches interrompues.

Si cet ensemble est vide, alors aller à (2);

Sinon, aller à (4);

ETAPE.2.  $H:=H+1$ ;

Si l'ensemble des tâches qui n'ont pas encore commencé et l'ensemble des tâches interrompues sont vides, alors aller à (3);

Sinon,

s'il y a des tâches qui sont achevées à cette date, alors libérer leurs moyens et les rajouter aux ressources disponibles puis aller à (1),

sinon, aller à (1) quand même;

ETAPE.3. Fin.

ETAPE.4. Calcul des besoins.

Si les ressources disponibles dépassent les besoins, alors, affecter les ressources nécessaires à l'ensemble trouvé dans (1) puis aller à (2);

Sinon,

s'il y a des substituants en quantités suffisantes (Si les ressources disponibles augmentées des substituants dépassent les besoins) alors, affecter les ressources nécessaires à l'ensemble trouvé dans (1) puis aller à (2);

Sinon, aller à (5);

ETAPE.5. Recherche de l'ensemble des tâches critiques parmi l'ensemble trouvé dans (1).

Si cet ensemble est vide, alors, aller à (7);

Sinon, aller à (6);

ETAPE.6. Calcul des besoins.

Si les ressources disponibles dépassent les besoins, alors, affecter les ressources nécessaires à l'ensemble des tâches critiques puis aller à (7);

Sinon,

s'il y a des substituants en quantités suffisantes (si les ressources disponibles augmentées des substituants dépassent les besoins), alors, affecter les ressources nécessaires à l'ensemble trouvé dans (5) puis aller à (7);

Sinon,

s'il y a des tâches que nous pouvons interrompre parmi l'ensemble des tâches en cours d'exécution, alors, interrompre ces tâches et commencer les tâches critiques;

Sinon, retarder l'une des tâches critiques et refaire l'étape (6) avec le nouvel ensemble des tâches critiques jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de tâches critiques à enlever puis aller à (7);

ETAPE.7. Trier les tâches de l'ensemble trouvé dans (1) (diminué de l'ensemble des tâches critiques) par ordre des dates au plus tard croissant

ETAPE.8. Sélectionner les tâches ayant la plus petite date au plus tard puis calculer les besoins; Si les ressources disponibles dépassent les besoins, alors, affecter les ressources nécessaires à l'ensemble trouvé; Diminuer l'ensemble trouvé dans (1) de cet ensemble;

Si l'ensemble ainsi trouvé est vide aller à (2)

Sinon, aller à (8).

Sinon,

S'il y a des substituants en quantités suffisantes (si les ressources disponibles augmentées des substituants dépassent les besoins), alors, affecter les ressources nécessaires à l'ensemble trouvé puis aller à (2);

Sinon, Tester le cardinal de l'ensemble considéré:

Si le cardinal est égale à 1 (une seule tâche) alors, diminuer l'ensemble trouvé dans (1) de cette tâche:

Si l'ensemble ainsi trouvé est vide alors, aller à (2);

Sinon aller à (8);

Si le cardinal est supérieur à 1 alors, aller à (9)

ETAPE.9. Trier les tâches trouvées dans (8) (diminuer de l'ensemble des tâches pour lesquelles des ressources ont été affectées) par ordre de durées croissantes et aller à (10)

ETAPE.10. Sélectionner les tâches ayant la plus petite durée puis calculer les besoins;

Si les ressources disponibles dépassent les besoins, alors, affecter les ressources nécessaires à l'ensemble trouvé; diminuer l'ensemble trouvé dans (8) de cet ensemble:

Si l'ensemble ainsi trouvé est vide alors aller à (2);

Sinon aller à (10);

Sinon,

S'il y a des substituants en quantités suffisantes (si les ressources disponibles augmentées des substituants dépassent les besoins), alors, affecter les ressources nécessaires à l'ensemble trouvé puis aller à (2);

Sinon, Tester le cardinal de l'ensemble considéré:

Si le cardinal est égale à 1 diminuer l'ensemble trouvé dans (8) de cette tâche:

Si l'ensemble ainsi trouvé est vide aller à (2);

Sinon aller à (10)

Si le cardinal est supérieur à 1, aller à (11);

ETAPE.11. Prendre dans l'ensemble trouvé dans (10) la tâche portant le plus petit numéro et calculer ses besoins, aller à (12);

ETAPE.12.

Si les ressources disponibles dépassent les besoins, alors, affecter les ressources nécessaires à la tâche sélectionnée; Diminuer l'ensemble considéré de cette tâche:

Si l'ensemble ainsi trouvé est vide aller à (2)

Sinon prendre dans ce nouvel ensemble la tâche portant le plus petit numéro; Calculer ses besoins et aller à (12);

Sinon,

s'il y a des substituants en quantités suffisantes (si les ressources disponibles augmentées des substituants dépassent les besoins), alors, affecter les ressources nécessaires à la tâche sélectionnée; aller à (13);

Sinon, aller à (13).

ETAPE.13.

Diminuer l'ensemble considéré de cette tâche:

Si l'ensemble ainsi trouvé est vide, alors, aller à (2);

Sinon, prendre dans ce nouvel ensemble la tâche portant le plus petit numéro; Calculer ses besoins et aller à (12);

Sinon, aller à (13).

REMARQUES: Les tâches que nous pouvons interrompre sont les tâches ayant des marges supérieures à la durée de la tâche critique que nous voudrions commencer et qui utilisent les ressources qui manquent pour commencer la tâche critique. Les tâches enlevées seront retardées à la date suivante (date H+1).

#### IV-PROBLEMES TEST:

##### 1. CHOIX DES EXEMPLES:

Les problèmes d'ordonnement sont caractérisés par, d'un côté, une dynamique particulière à divers niveaux d'analyse, de l'autre, une dépendance fonctionnelle, d'une rigidité spécifique, entre paramètres décisionnels; Ces caractéristiques font que la génération *aléatoire* des exemples test n'est pas du tout tâche facile.

Par suite, afin que soit procédé à la validation du programme heuristique, nous avons préconisé l'extraction d'exemples de la littérature où, la concordance entre paramètres décisionnels est une condition vérifiée à priori.

##### 2. PARAMETRES DE PERFORMANCE:

Lorsque le nombre de tâches d'un projet d'ordonnement n'excède pas la centaine (100 tâches), celui-ci est dit de "*petite taille*".

Dans le cas où le projet est de "*petite taille*", le *temps d'exécution* du programme y afférent est, souvent, négligeable; Comme le nombre de tâches, dans les exemples rencontrés, ne dépasse pas dix (10 tâches), le temps d'exécution, en tant que critère de performance du programme d'ordonnement, a été écarté. Par conséquent, la performance de l'heuristique d'amélioration de la méthode PERT, portera uniquement sur l'aspect "*automatisation*" du programme de lissage des charges, ce, en nous conformant, bien évidemment, aux solutions proposées par les auteurs.

REMARQUE: Les problèmes test figurent à l'annexe n° 8



## V-APPLICATION DE L'HEURISTIQUE AU PROJET FRENDA

Dès lors que la validation de l'heuristique d'amélioration s'est avérée positive du point de vue "automatisation de l'affectation des ressources", il serait pertinent d'en tester l'efficacité sur un problème concret, et particulièrement le projet "FRENDA".

Le projet "FRENDA", comme décrit plus haut, consiste en la réalisation d'un poste électrique *simplifié*, où le nombre de tâches est de 136 .

Comme le critère "temps d'exécution" fût l'une des raisons qui nous en amènées à envisager l'élaboration d'une heuristique, notre application reposera principalement sur ce parametre .

En effet, sitôt les données d'entrée de l'heuristique introduites, nous obtenons, au bout de moins de deux (2) minutes d'exécution, un ensemble de résultats, se résumant à:

-Un délai de réalisation du projet de 20 mois soit 434 jours ouvrables (délai raisonnable selon avis des responsables de l'entreprise)

-Un lissage des courbes de moyens.

### REMARQUE:

Les résultats détaillés figurent en annexe n° 10 et annexe n° 11

## VI-ANALYSE DE LA SENSIBILITE DU MODELE

L'efficacité d'une heuristique ne se traduit pas uniquement à travers sa capacité à fournir une solution à un problème spécifique, mais, un paramètre non des moins importants pour évaluer les performances d'une heuristique serait son aptitude à s'adapter avec les modifications auxquelles pourrait être assujetti le modèle étudié.

Ainsi, il serait intéressant d'examiner le comportement du modèle sous l'effet de la moindre perturbation des données. Il s'agirait d'étudier la sensibilité du modèle.

En effet, dans la pratique, l'examen des résultats fournis par le programme permet à l'utilisateur de décider s'il est nécessaire de relancer une nouvelle simulation en modifiant les capacités d'exécution (renfort raisonnable des ressources par un apport extérieur).

Pour ce faire nous avons procédé à quelques modifications et observer ainsi leur effet sur le délai d'exécution du projet: nous avons choisi la ressource dont le dépassement de capacité est le plus élevé: les manoeuvres, nous avons alors remplacé:

.la valeur 24 par 25 manoeuvres et nous avons obtenu un délai d'exécution de 423 jours, soit 19 mois et 10 jours, une réduction donc de 11 jours.

.pour une valeur égale à 27 manoeuvres, nous avons eu un délai de 409 jours, soit 18 mois et 18 jours, d'où une réduction de 1 mois et 4 jours.

.pour une dernière simulation, nous avons pris 30 manoeuvres, le délai a baissé jusqu'à 397 jours, c'est à dire 18 mois et 6 jours, soit une réduction de 1 mois et 16 jours.

A la lumière de ces résultats, le chargé d'affaire aura comme règle de décision:

si le bénéfice résultant d'une réduction de délai d'exécution

d'un mois et 4 jours (par exemple) est supérieur aux frais causés par le renfort de la ressource manoeuvre de 3 éléments, alors, il faut augmenter la disponibilité en manoeuvres de 3 personnes.

Ce même travail, pourra être fait pour chaque ressource utilisée pour observer l'effet de la modification sur le délai de fin du projet, et prendre ainsi les décisions appropriées.

REMARQUE:

La possibilité d'évaluer l'impact d'une quelconque perturbation sur le système demeure l'une des interrogations les plus importantes à laquelle peut répondre aisément notre heuristique. Le poids d'une telle caractéristique sur le plan "gestion" n'a pas besoin d'être démontré, vue la multiplicité des aléas auxquels est confronté régulièrement le gestionnaire.

## VII- GUIDE D'UTILISATION DU PROGRAMME:

(Le langage de programmation utilisé est le TURBO PASCAL)

Les résultats du PERT-TEMPS représentent les données d'entrée du programme que nous avons élaboré.

En effet, ces données sont présentées sous forme d'une matrice "A" dont le nombre de lignes, appelé "MMAX", représente la taille du poste à étudier, c'est à dire le nombre de tâches composant l'ouvrage.

Les trois (3) premières colonnes concernent la date de début au plus tôt, la date de début au plus tard (dont la différence représente la marge) et la durée de la tâche; Les autres colonnes représentent les moyens à utiliser, c'est à dire pour chaque tâche, nous devons préciser la quantité nécessaire pour une ressource donnée (2 manœuvres pour la tâche 7 par exemple).

Le nombre de colonnes étant appelé "NMAX".

Le vecteur "V", ayant pour composantes les variables  $j$ , représente la disponibilité des différentes ressources. La variable  $j$  prend, comme première valeur, le nombre quatre (4), puisque dans la matrice "A" les ressources commencent à partir de la quatrième colonne (V[4],V[5]...).

"CAP" représente la disponibilité de l'entreprise en la ressource "manœuvre".

Ainsi, l'utilisateur aura à faire entrer comme données les valeurs de : MMAX, NMAX et CAP.

Il fera ensuite appel au fichier données "DON.DAT" (en utilisant la commande FB) dans lequel il introduira les valeurs de la matrice "A" et du vecteur "V".

Il lancera ensuite l'exécution du programme qui donnera comme résultats, dans le fichier "RES.DAT", les vecteurs suivants:

1-le vecteur DP:

DP(i) est la date de commencement prévue de la tâche i

2-le vecteur L:

L(i) étant la date de fin de la tâche i

3-le vecteur DP1:

DP1(i) est la date de commencement d'une tâche i interrompue, avant son interruption .

4-le vecteur DUR1:

DUR1(i) étant la durée d'une tâche i interrompue, avant son interruption (si DUR1(i) =2, alors, cela veut dire que la tâche i a duré 2 jours ensuite, elle a été interrompue).

L'utilisateur pourra aussi savoir pour chaque tâche i interrompue, la date H à laquelle elle a été interrompue et la tâche critique (K1) pour laquelle l'exécution de "i" a été arrêtée.

Il trouvera ainsi les messages suivants:

'La tâche interrompue étant "i" ?

'la tâche "i" a été interrompue à la date "H" ?

' La date de commencement de "i" avant interruption étant DP1(i) ?

'La durée de réalisation de "i" avant interruption étant DUR1(i) ?

'La tâche critique causant l'interruption de "i" étant "K1" ?

## CONCLUSION:

Sur la base des résultats fournis par l'heuristique, il nous est permis de prétendre avoir atteint la globalité des objectifs fixés au départ, dont:

-Obtention d'un "modèle type" pour la réalisation d'un poste électrique simplifié (en supposant les ressources invariables en "genre" et "nombre" pour tous les projets futurs).

-Réduction considérable du temps d'exécution du programme d'affectation des ressources; celui-ci passant à quelques dizaines de secondes (moins de 120s) au lieu de dizaines d'heures; Le changement d'échelle évitant tout commentaire.

-Automatisation du lissage des ressources: L'affectation des ressources se borne à la politique choisie et aux données de départ, limitant l'intervention de l'opérateur uniquement à l'introduction des données et à leur modifications dans le cas où le type de poste à étudier devra changer (poste classique ou poste très haute tension)

# **PARTIE.5**

## **SUGGESTIONS**

A la lumière du travail que nous avons fait pour ce projet, nous avons pu retenir plusieurs remarques dont certaines peuvent être formulées comme étant des suggestions pour un travail de continuité, nous citons alors:

#### I/LE PERT-COUT:

S'avisant que les travaux ne sont réellement contrôlés que lorsqu'on en maîtrise les coûts, la méthode PERT doit être complétée à l'aide de la méthode PERT-COUT, qui permet de programmer le coût des travaux et de surveiller la réalisation des dépenses.

En effet, la méthode PERT-COUT consiste à mettre en évidence le rapport qu'il y a entre le temps d'exécution d'une tâche et son coût. Elle intègre donc dans le planning du PERT -qui était jusqu'ici limité au temps- les données relatives au coût [12].

Elle constitue le cadre dans les limites duquel on peut établir un calendrier et des budgets détaillés compte tenu des ressources disponibles .

Une fois que le travail a commencé, on compare les coûts réels et les temps réels avec les prévisions.

En résumé on peut dire que l'application de cette méthode permet:

-d'estimer le coût global du projet et d'en établir le budget découpé en périodes.

-de contrôler les dépenses relatives à son exécution.

Ainsi au fur et à mesure de l'avancement du projet, les données réelles remplacent les estimations plus ou moins précises faites précédemment.

Le responsable de l'exécution des programmes a ainsi en main un outil de prévision et de contrôle lui permettant de prendre en



temps voulu et lorsque cela est nécessaire toute décision corrective qui s'impose.

En effet, plusieurs techniques - visant à optimiser le planning en tenant compte des coûts- existent; parmi celles-ci, nous citons la suivante:

#### ACCELERATION D'UN PROGRAMME AU MOINDRE COUT :

Le plus souvent, abaisser un délai d'exécution c'est consentir une dépense supplémentaire par l'augmentation des moyens (heures supplémentaires, embauche de main d'oeuvre, sous traitance ...).

Ainsi, désirant réduire la durée d'un programme, la question à se poser sera: combien cette opération va t-elle coûter ? la réponse n'est possible que si les temps d'exécution des tâches et la variation des coûts résultant de la diminution des temps d'exécution sont connus, (coût résultant d'une réduction d'une unité de temps de la durée de chaque tâche (coût marginal) ce qui amène à chercher pour chaque tâche sa durée optimum et minimum, d'où la déduction de sa plage de réduction possible et les coûts à supporter selon le nombre d'heures, de jours ou de semaines de réduction (données dont nous n'avons pu avoir au niveau de l'entreprise), la durée optimum retenue est celle qui apparaît sur le réseau PERT, la durée minimum reste à calculer en fonction des possibilités.

Ainsi, la technique élaborée opère comme suit:[8]

1-mettre le réseau PERT au temps normal,

2-repérer le chemin critique,

3-déterminer le coût du réseau à allure normale,

4-établir un tableau sur lequel, pour chaque tâche, seront

indiqués :

- la durée optimum de la tâche,
  - la durée minimum de la tâche,
  - la réduction possible de la tâche (durée optimum - durée minimum),
  - les coûts supplémentaires dûs aux réductions successives de la tâche (en faisant intervenir plus de main d'oeuvre, par exemple),
- 5-prendre dans le tableau, ce qui coûte le moins cher dans l'accélération des tâches et voir ce que l'on peut réduire(\*)

---

(\*) (pour plus de détail sur les méthodes PERT-COUT se référer aux livres [8] et [9] )

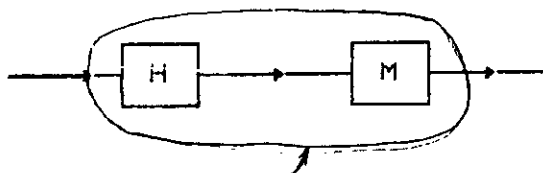
## II/ETUDE DE LA FIABILITE DU RESEAU PERT:

Ayant déjà admis que la durée d'exécution du projet suit une loi normale de moyenne la somme des durées des tâches critiques et pour variance la somme des variances de celles-ci, nous avons pu avoir comme résultat, une probabilité de 50% pour que la date donnée par le PERT soit respectée.

Nous avons aussi pu avoir le pourcentage de chances de voir finir le projet à une date D quelconque. Après l'élaboration de l'heuristique qui tient compte des moyens humains et matériels, il serait intéressant d'évaluer cette probabilité pour le nouveau programme d'exécution. En effet, le réseau PERT, de par sa structure, serait assimilable à un système série-parallèle où, les composants seraient les tâches composant l'ouvrage. Chaque tâche étant caractérisée par trois paramètres:

- 1-temps d'exécution
- 2-ressource humaine
- 3-moyen matériel

L'exécution de la tâche i en un temps t se trouve donc conditionnée par la disponibilité du moyen humain H et matériel M. En terme de fiabilité des systèmes, le composant i fonctionnerait sans défaillance pendant le temps t pourvu que le composant H et le composant M fonctionnent; Si l'un des deux est en panne, le composant i ne peut fonctionner. La tâche i se présente donc comme un système série, composé de deux éléments: l'homme et le matériel.



tâche i

Le délai d'exécution du projet étant fourni par le programme de l'heuristique, soit T, évaluer le pourcentage de chances dont nous disposons pour que cette date soit respectée, autrement dit, connaître la probabilité que le système ainsi défini, dans des conditions spécifiques, fonctionne sans défaillance pendant un temps T, revient à étudier la fiabilité du système.

Pour parvenir à un tel résultat, il faut adopter les étapes suivantes:

- a/Evaluer la fiabilité de H
- b/Evaluer la fiabilité de M
- c/Evaluer la fiabilité de la tâche i, celle-ci étant le produit des deux premières.

Il faut réaliser ce travail pour chaque tâche.

Une question alors, se pose: comment évaluer ces diverses fiabilités?

#### a/FIABILITE HUMAINE:

La fiabilité de l'homme serait la probabilité qu'il accomplisse normalement son travail pendant le temps T et dans les conditions spécifiées (environnement social, climat...). La défaillance de l'élément H peut résulter d'un certain nombre de paramètres; nous en citons et ceci n'est pas exhaustif:

- Un malaise ou un accident survenu en cours de réalisation de la tâche;
- Une absence;

De ce fait, il y a lieu de procéder à une collecte d'informations auprès des divers services de l'entreprise (ou chantier) dont: Le nombre d'accidents recensés sur un certain nombre de projets. Cette mission n'est pas des plus faciles; Pour ce faire, le

service "Hygiène et Sécurité" est seul habilité à fournir ce type d'informations puisqu'un rapport est automatiquement rédigé à la suite de tout malaise auquel le travailleur pourrait faire l'objet.

Sur ce rapport sont mentionnés: Profil de l'accidenté, référence du projet en cours, date exacte (heure, jour, mois, année), durée de la perturbation causée, délai alloué à la tâche interrompue.

#### b/FIABILITE MATERIELLE:

La défaillance du composant M résulte d'une panne de l'équipement utilisé.

Cette panne peut avoir plusieurs origines, à savoir: usure d'une des pièces de rechange, moteur à renouveler...

La direction Maintenance, le département Approvisionnement et la division Ressource Matérielles constituent la source d'informations telles que: le nombre de pannes rescencées pour chaque type de matériel, durée de la panne, en consultant les fiches historiques de chaque équipement.

#### CONCLUSION:

Sur la base de ces informations, nous pouvons, (en utilisant les techniques statistiques à savoir: ajustement d'une série d'observations à une loi statistique, tests d'hypothèses, détermination graphique des paramètres des lois usuelles ) déterminer les lois de distribution les durées de vie des composants M et H. Ceci fait, nous pouvons calculer la fiabilité du système.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

En guise de vision objective, il serait pertinent de remettre en question, même momentanément, ce modeste travail: Avons-nous atteint les objectifs fixés au départ?

En effet, nous avons commencé notre étude par positionner le problème dans le contexte des problèmes d'ordonnancement. Nous sommes ensuite passées à l'application de la méthode PERT-temps qui a donné un délai de fin des travaux de 17 mois, résultat estimé "très bon". Mais, les histogrammes des charges résultant de l'application de cette méthode ont dû mettre en relief un déséquilibre entre les besoins et la disponibilité des moyens. Ceci nous a poussées à réfléchir à une méthode de lissage de ces courbes en un temps raisonnable.

Pour ce faire, nous avons élaboré un programme d'affectation des ressources, basé sur une méthode heuristique. Les résultats de ce programme sont représentés dans un tableau donnant les différentes dates de début des tâches; Le délai de fin de projet obtenu étant de 20 mois, délai jugé "bon" puisque les travaux d'un poste simplifié sont réalisés pendant une durée variant entre 22 et 26 mois (ceci selon les estimations des responsables de l'entreprise)

Ensuite, pour visualiser le lissage des courbes de charges, nous avons introduit ces dates dans le logiciel PROJECT, lequel permet d'afficher les différents histogrammes nivelés; Les résultats, ainsi présentés, permettent à l'utilisateur d'en apprécier l'impact pratique. La différence entre les deux allures des histogrammes (avant et après l'application de l'heuristique) répond à toute interrogation au sujet de tout dépassement de capacité.

A la lumière de ces résultats, nous pouvons prétendre avoir, non seulement élaboré un "MODELE TYPE" de réalisation d'un poste électrique simplifié, mais le détail le plus important concernant notre travail et qui mériterait d'être cité, serait bien les possibilités offertes par notre programme pour des projets de plus grande envergure.

En définitif, nous estimons avoir répondu et de façon satisfaisante aux attentes des responsables de KAHRAKIB; Nous oserions même dire, sans la moindre hésitation, que notre contribution revêt une importance de taille quant à l'activité de la division Méthode et ordonnancement.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] P. CHRETIENNE et J. CARLIER  
Problèmes d'ordonnancement, modélisation,  
complexité et algorithmes (1988)
- [2] L. BOYER M. POIREE E. SALIN  
Précis d'organisation et de gestion  
de la production (1986)
- [3] F. ECOTO  
Initialisation à la recherche  
opérationnelle (1986)
- [4] BAGLIN et GARREAU  
Gestion informatique de la production (1985)
- [5] J. BERNARD et M. PEKER  
Les plannings (1985)
- [6] FEDERAL ELECTRIC CORPORATION (9<sup>ème</sup> édition)  
La méthode PERT (1984)
- [7] N. GAITHER  
L'entreprise et la gestion  
des opérations (1983)
- [8] P. PEGGIOLI  
pratique de la méthode PERT (1980)
- [9] R. FAURE



- Chemins, flots et ordonnancement (1976)
- [10] KAUFFMAN DESBAZEILLE  
La méthode du chemin critique (1974)
- [11] P. LAMBERT  
La fonction d'ordonnancement (1974)
- [12] FEDERAL ELECTRIC CORPORATION  
Le PERT COST (1966)

#### THESES

- [13] M. SIFI  
Ordonnancement des travaux de maintenance  
d'un aéronef en grande visite d'entretien (1991)
- [14] A. AIT BENALI et N. BENZEGHIBA  
Conception d'un système d'information,  
gestion des travaux (1989)
- [15] A. JORRY  
Algorithmes pour l'ordonnancement  
des tâches (1976)
- [16] Séminaire animé par M<sup>r</sup> BENLAMARA  
Méthode d'ordonnancement "PERT"

# ANNEXES

## ANNEXE N° 1

### NOTION DE COMPLEXITE

Dans la théorie, lors de l'étude d'un problème, on commence toujours par chercher à classer ce problème; soit à déterminer sa complexité.

Pour pouvoir définir la complexité d'un problème, il faut d'abord définir la complexité d'un algorithme capable de le résoudre. Et la complexité d'un algorithme est le nombre d'opérations effectuées en fonction de la taille du problème dans le cas le plus défavorable (c'est aussi l'évolution de son temps de calcul en fonction de la taille du problème).

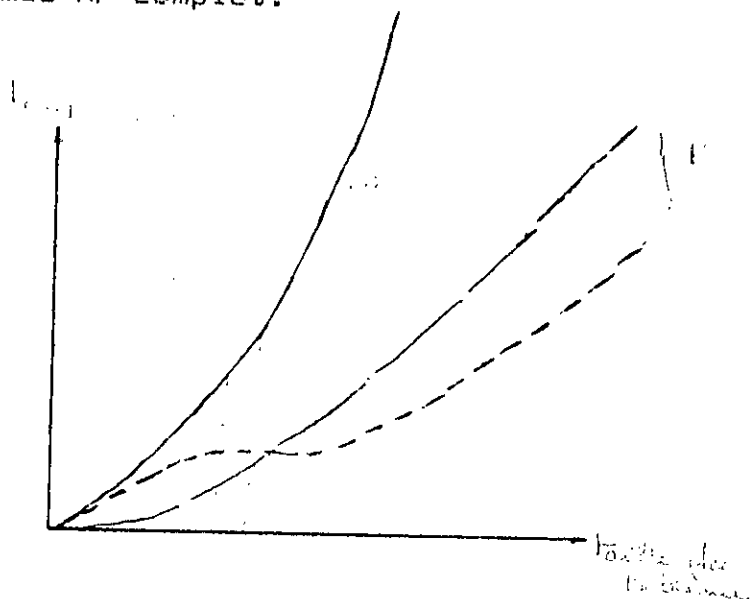
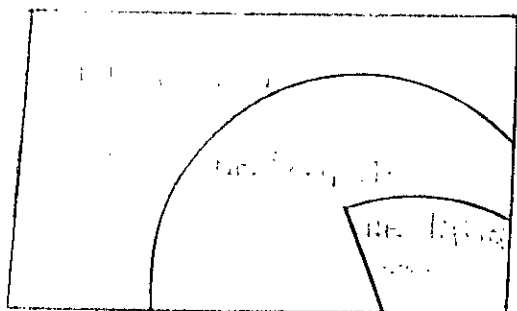
Si cette fonction est un polynôme en  $n$ , on dit que l'algorithme est polynomial (pour le démontrer, on prouve que dans tous les cas, le nombre d'opérations est inférieur ou égal à  $Kn^p$ , où  $K$  est une constante et  $p$  entier le plus petit possible, on dit alors que l'algorithme est de l'ordre de  $O(n^p)$ . Pour comparer deux algorithmes, on regarde la valeur de  $p$ ; plus  $p$  est petit, meilleur est l'algorithme:  $O(n^2)$  est meilleur que  $O(n^3)$  [5].

Si le nombre d'opérations suit une loi exponentielle ou factorielle ( $K^n$  ou  $n!$ ), on dit que l'algorithme est exponentiel. On distingue même des algorithmes hyperexponentiel ( $K^k$ ).

Ainsi, on distingue tout d'abord les problèmes dits *polynomiaux*, ce sont ceux pour lesquels on a trouvé au moins un algorithme polynomial pour les résoudre.

Le complémentaire étant tous les problèmes pour lesquels on n'a pas encore été capable de trouver des algorithmes polynomiaux. Dans ce complémentaire, on distingue une classe de problèmes dits *NP-complet*: ce sont des problèmes "difficiles"

pour lesquels on ne connaît que des algorithmes exponentiels, l'autre classe est celle des *problème* dits *NP-difficiles* aussi difficiles que les problèmes NP-complet.



présentation  
des ensembles  
de problèmes

évolution du temps de calcul  
en fonction de la taille du  
problème.

Ainsi, il est très intéressant de savoir, avant d'aborder un problème, à quelle classe de problèmes il appartient. En effet:

- s'il est polynomial, on le résoudra avec un algorithme polynomial.

- s'il est NP-complet ou NP-difficile, dès l'instant où la taille dépasse quelques dizaines, on le résoudra approximativement par des heuristiques polynomiales (puisque les algorithmes exponentiels ou ceux ayant une durée du même ordre de grandeur que  $K^n$ -nécessitant un temps de calcul très grand dès que la taille du problème augmente un tant soit peu ne sont utilisés que dans le cas où une solution optimale exacte est exigée).

## DONNEES D'ENTREE DU PERT TEMPS

| A  | B        | C    | D   | E    | F    | G   | H    |
|----|----------|------|-----|------|------|-----|------|
| 1  | -        | 10   | 11  | 12   | 11   | 55  | .11  |
| 2  | -        | 7    | 8   | 9    | 8    | 40  | .11  |
| 3  | 1        | 32   | 32  | 40   | 33.4 | 167 | 1.77 |
| 4  | 2        | 20   | 20  | 28   | 21.4 | 107 | 1.77 |
| 5  | 2        | 4    | 4   | 4    | 4    | 20  |      |
| 6  | 5        | 1    | 1   | 1    | 1    | 5   |      |
| 7  | -        | 2.2  | 2.6 | 3    | 2.6  | 13  | .017 |
| 8  | 9        | 1.4  | 1.4 | 1.4  | 1.4  | 7   |      |
| 9  | 6        | 11.6 | 12  | 12.4 | 12   | 60  | .017 |
| 10 | 8        | 0.2  | 0.4 | 0.6  | 0.4  | 2   | .004 |
| 11 | 10       | 2    | 2   | 2    | 2    | 10  |      |
| 12 | 11       | 2    | 2   | 2    | 2    | 10  |      |
| 13 | 12       | 1    | 1   | 1    | 1    | 5   |      |
| 14 | 10,13    | 2    | 2   | 2    | 2    | 10  |      |
| 15 | 12       | 1    | 1   | 2    | 1.2  | 6   | .027 |
| 16 | 15       | 2    | 4   | 6    | 4    | 20  | .44  |
| 17 | 7        | 1.4  | 1.4 | 2.6  | 1.6  | 8   | .04  |
| 18 | 16       | 0.6  | 0.6 | 0.6  | 0.6  | 3   |      |
| 19 | 18       | 1    | 1.2 | 4    | 1.6  | 8   | .25  |
| 20 | 9,10,15  | 4    | 4   | 4    | 4    | 20  |      |
| 21 | 20       | 1    | 1   | 2    | 1.2  | 6   | .027 |
| 22 | 10,14,21 | 0.4  | 0.6 | 2    | 0.8  | 4   | .017 |
| 23 | 22       | 2    | 2   | 2    | 2    | 10  |      |
| 24 | 28       | 4    | 4   | 4    | 4    | 20  |      |
| 25 | 22,23    | 8    | 8   | 8    | 8    | 40  |      |
| 26 | 17       | 3.4  | 4   | 4.6  | 4    | 20  | .04  |
| 27 | 25       | 2    | 2   | 2    | 2    | 10  |      |
| 28 | 27       | 1    | 1   | 1    | 1    | 5   |      |
| 29 | 28       | 1    | 1   | 1    | 1    | 5   |      |
| 30 | 29       | 4    | 4   | 4    | 4    | 20  |      |
| 31 | 22       | 8    | 8   | 8    | 8    | 40  |      |
| 32 | 31       | 4    | 4   | 9    | 4.8  | 24  | .63  |
| 33 | 32       | 1.8  | 2.4 | 4    | 2.6  | 13  | .134 |
| 34 | 31       | 4    | 4   | 4    | 4    | 20  |      |
| 35 | 31       | 1.6  | 2   | 4    | 2.2  | 11  | .16  |
| 36 | 35       | 4    | 4   | 4    | 4    | 20  |      |
| 37 | 32       | 2    | 2   | 2    | 2    | 10  |      |
| 38 | 5        | 8    | 8   | 8    | 8    | 40  |      |
| 39 | 38       | 4    | 4   | 4    | 4    | 20  |      |
| 40 | 26       | 8    | 8   | 8    | 8    | 40  |      |
| 41 | 39       | 4    | 4   | 4    | 4    | 20  |      |

|    |       |     |     |     |     |    |      |
|----|-------|-----|-----|-----|-----|----|------|
| 42 | 41    | 12  | 12  | 12  | 12  | 60 |      |
| 43 | 42    | 12  | 12  | 12  | 12  | 60 |      |
| 44 | 43    | 4   | 4   | 4   | 4   | 20 |      |
| 45 | 38    | 3   | 4   | 6   | 4.2 | 21 | .25  |
| 46 | 45    | 1   | 1   | 2   | 1.2 | 6  | .027 |
| 47 | 40    | 5   | 5.4 | 5.8 | 5.4 | 27 | .017 |
| 48 | 46    | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 13 |      |
| 49 | 48    | 8   | 8   | 8   | 8   | 40 |      |
| 50 | 49    | 2   | 2   | 8   | 3   | 15 |      |
| 51 | 50    | 1   | 1   | 2   | 1.2 | 6  | .027 |
| 52 | 51    | 2   | 2   | 2   | 2   | 10 |      |
| 53 | 38    | 8   | 8   | 12  | 8.6 | 43 | .44  |
| 54 | 53    | 4   | 4   | 4   | 4   | 20 |      |
| 55 | 47    | 5   | 5.4 | 5.8 | 5.4 | 27 | .017 |
| 56 | 54    | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 13 |      |
| 57 | 56    | 8   | 8   | 8   | 8   | 40 |      |
| 58 | 57    | 4   | 8   | 12  | 8   | 40 | .77  |
| 59 | 58    | 4   | 4   | 4   | 4   | 20 |      |
| 60 | 53    | 4   | 4   | 4   | 4   | 20 |      |
| 61 | 60    | 4   | 4   | 4   | 4   | 20 |      |
| 62 | 61    | 4   | 4   | 8   | 4.6 | 23 | .44  |
| 63 | 62    | 4   | 4   | 4   | 4   | 20 |      |
| 64 | 53,62 | 2   | 2   | 4   | 2.4 | 12 | .11  |
| 65 | 64    | 0.4 | 0.4 | 2   | 1   | 5  | .017 |
| 66 | 55    | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 7  |      |
| 67 | 65    | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 3  |      |
| 68 | 67    | 4   | 4   | 4   | 4   | 20 |      |
| 69 | 68    | 6   | 6   | 6   | 6   | 30 |      |
| 70 | 69    | 0.4 | 0.6 | 1.2 | 0.6 | 3  | .017 |
| 71 | 64    | 2   | 2   | 4   | 2.4 | 12 | .11  |
| 72 | 71    | 2   | 2   | 2   | 2   | 10 |      |
| 73 | 66    | 2.2 | 2.6 | 3   | 2.6 | 13 | .017 |
| 74 | 72    | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 7  |      |
| 75 | 74    | 4   | 4   | 4   | 4   | 20 |      |
| 76 | 75    | 4   | 5   | 8   | 5.4 | 27 | .44  |
| 77 | 76    | 4   | 4   | 4   | 4   | 20 |      |
| 78 | 71    | 2   | 2   | 4   | 2.4 | 12 | .11  |
| 79 | 78    | 1   | 1   | 2   | 1.2 | 6  | .027 |
| 80 | 73    | 1   | 1.4 | 2.6 | 1.6 | 8  | .071 |
| 81 | 79    | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 7  |      |
| 82 | 81    | 2   | 2   | 4   | 2.4 | 12 | .11  |
| 83 | 82    | 1   | 1.2 | 4   | 1.6 | 8  | .25  |
| 84 | 90    | 2   | 2   | 2   | 2   | 10 |      |

|     |                         |     |     |     |     |    |      |
|-----|-------------------------|-----|-----|-----|-----|----|------|
| 85  | 84                      | 2   | 2   | 2   | 2   | 10 |      |
| 86  | 85                      | 2   | 2   | 2   | 2   | 10 |      |
| 87  | 80                      | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 13 |      |
| 88  | 86                      | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 7  |      |
| 89  | 88                      | 2   | 2   | 2   | 2   | 10 |      |
| 90  | 53                      | 2   | 2   | 2   | 2   | 10 |      |
| 91  | 90                      | 4   | 4   | 4   | 4   | 20 |      |
| 92  | 91                      | 4   | 4   | 4   | 4   | 20 |      |
| 93  | 92                      | 4   | 4   | 4   | 4   | 20 |      |
| 94  | 60                      | 1   | 1   | 1   | 1   | 5  |      |
| 95  | 94                      | 0.4 | 0.6 | 1   | 0.6 | 3  | .01  |
| 96  | 87                      | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 13 |      |
| 97  | 95                      | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 7  |      |
| 98  | 97                      | 4   | 4   | 4   | 4   | 20 |      |
| 99  | 98                      | 1   | 1   | 2   | 1.2 | 6  | .027 |
| 100 | 99                      | 1   | 1   | 2   | 1.2 | 6  | .027 |
| 101 | 30,43,52,59,62,76,83,89 | 1   | 1   | 1   | 1   | 5  |      |
| 102 | 101                     | 1   | 1   | 1   | 1   | 5  |      |
| 103 | 96                      | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 3  |      |
| 104 | 102                     | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 2  |      |
| 105 | 104                     | 1   | 1   | 1   | 1   | 5  |      |
| 106 | 105                     | 1   | 1   | 1   | 1   | 5  |      |
| 107 | 101,105,109,119         | 2   | 2   | 4   | 2.4 | 12 | .11  |
| 108 | 43                      | 2   | 2   | 3   | 2.2 | 11 | .027 |
| 109 | 58                      | 2   | 2   | 2   | 2   | 10 |      |
| 110 | 43                      | 1   | 1.6 | 2   | 1.6 | 8  |      |
| 111 | 108,109,117             | 2   | 3   | 4   | 3   | 15 | .11  |
| 112 | 120                     | 2   | 2   | 2   | 2   | 10 |      |
| 113 | 120                     | 2   | 2   | 2   | 2   | 10 |      |
| 114 | 120                     | 3   | 3   | 4   | 3.2 | 16 | .027 |
| 115 | 120                     | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 2  |      |
| 116 | 120                     | 1   | 1   | 1   | 1   | 5  |      |
| 117 | 108,109                 | 1   | 1   | 1   | 1   | 5  |      |
| 118 | 120                     | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 1  |      |
| 119 | 120                     | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 2  |      |
| 120 | 108                     | 0.8 | 1   | 0.2 | 1   | 5  | .004 |
| 121 | 120                     | 3   | 3.4 | 4   | 3.4 | 17 | .027 |
| 122 | 108                     | 4   | 4   | 4   | 4   | 20 |      |
| 123 | 108,109                 | 4   | 4   | 4   | 4   | 20 |      |
| 124 | 112,113,114,115,116,117 |     |     |     |     |    |      |
|     | 118,119                 | 2   | 2   | 2   | 2   | 10 |      |
| 125 | 37                      | 2   | 2   | 2   | 2   | 10 |      |
| 126 | 37                      | 2   | 2   | 2   | 2   | 10 |      |

|     |   |     |     |     |     |        |
|-----|---|-----|-----|-----|-----|--------|
| 127 | 108,126                                     | 3   | 3   | 3   | 3   | 15     |
| 128 | 127   | 2   | 2   | 2   | 2   | 10     |
| 129 | 108   | 1   | 1.2 | 3   | 1.4 | 7      |
| 130 | 37  | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 3      |
| 131 | 37  | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 3      |
| 132 | 37  | 0.2 | 0.6 | 1   | 0.6 | 3 .017 |
| 133 | 37  | 0.2 | 0.6 | 1   | 0.6 | 3 .017 |
| 134 | 76  | 3   | 3   | 3   | 3   | 15     |
| 135 | 112,113,114,115,116,117,<br>118,119,132,134 | 7   | 8   | 10  | 8.2 | 41 .25 |
| 136 | 135   | 4   | 4   | 4   | 4   | 20     |

A: TACHE

B: TACHE ANTERIEURE

C: DUREE (a) OPTIMISTE (en semaines)

D: DUREE (m) PLUS PROBABLE (en semaines)

E: DUREE (b) PESSIMISTE (en semaine)

F: DUREE (d) MOYENNE (en semaines)

G: DUREE (d) (en jours)

H: VARIANCE



## ANNEXE N°3

### \* DESCRIPTION DU PROJECT \*

PROJECT se présente comme un progiciel de planification et gestion de projet, se caractérise par une grande souplesse d'emploi tout en offrant de nombreuses possibilités:

- Etablissement de plannings ;
- Calcul des délais ;
- Calcul des coûts ;
- Affectation des ressources ;
- Mise à jours suite à toute modification ;
- Visualisation graphique GANTT et réseau PERT ;
- Comparaison des plannings courants au planning prévisionnel.

PROJECT fonctionne sur tout micro ordinateur tournant sous MS-DOS et nécessite une capacité de 256 KO de mémoire .

le progiciel "PROJECT" permet:

- D'optimiser les plannings ,c'est à dire l'ordonnancements des activités sur les graphes PERT et GANTT ,date d'achèvement du projet donnant ainsi les dates au plus tôt et au plus tard, la marge totale pour chaque activité du projet.
- De suivre l'avancement du projet par rapport au planning prévisionnel.

Le Microsoft Project propose sept écrans:

- calendrier (2 écrans),
- activité;
- ressources;
- regard (view);
- analyse.

- PERT  
Sur les écrans activité, calendrier et ressources, nous pouvons saisir toutes les données correspondantes au projet, c'est à dire le planning proprement dit, le calendrier de travail et les moyens mis en oeuvre.

Ces informations introduites sur chaque écran sont également exploitées dans les autres écrans, mais stockées sur des fichiers

séparés sur le disque.

il est préférable avant de créer un planning pour un projet, de commencer par établir le calendrier afin d'y incorporer les jours fériés, les vacances, la semaine standard ainsi que le jour ouvrable standard ceci à partir du premier écran du calendrier. On peut désigner les heures de début et de fin de travail par jour ainsi que le temps de pose à partir du deuxième écran affichant une période de 24 heures divisé en 86 tranches de 1/4 d'heures.

L'écran activité se compose d'une échelle de temps graduée et d'une ligne numéroté dans les quelles on introduira les différentes activités. La saisie de chaque activité s'effectue simplement en définissant son nom, sa durée, ses antécédants. Dès l'introduction d'une nouvelle donnée, le logiciel met à jour le planning et le chemin critique correspondant sur le diagramme Gantt ainsi que la marge totale. Pour chacune des tâches est affecté des ressources (personnel ou matériel) en nature et quantité.

Au fur et à mesure de l'introduction des données "PROJECT" construit un tableau de ressources dans lequel il affiche le nombre nécessaires pour chacune d'entrées. On peut ajouter aussi le coût des moyens mis en oeuvre.

La commande réseau(network) présente le projet sous une forme différente à celle du diagramme GANTT obtenu par l'écran activité, le réseau fait apparaître l'interdépendance des activités, il se compose de case d'activité interconnectées dont certaines d'entre elles sont doublement encadrés constituent les tâches critiques.

A partir de l'écran ressource on peut ouvrir l'écran view, il se divise en deux zones celle de gauche affichant une liste d'activités attribuées à la ressource sélectionnée pour une date donnée et celle de droite contenant un histogramme respectant son degré d'utilisation.

L'écran analyse divisé lui aussi en deux zones affiche simultanément le planning prévisionnel et le planning courant, le

composant de (C) encore plus étendu; et ainsi de suite.  
 à dire d'un projet (A) un élément d'un plus grand (B); lui-même  
 projet principal ou procéder à des emboîtements successifs; et  
 du point par exemple; les différents projets externes en un  
 manière:

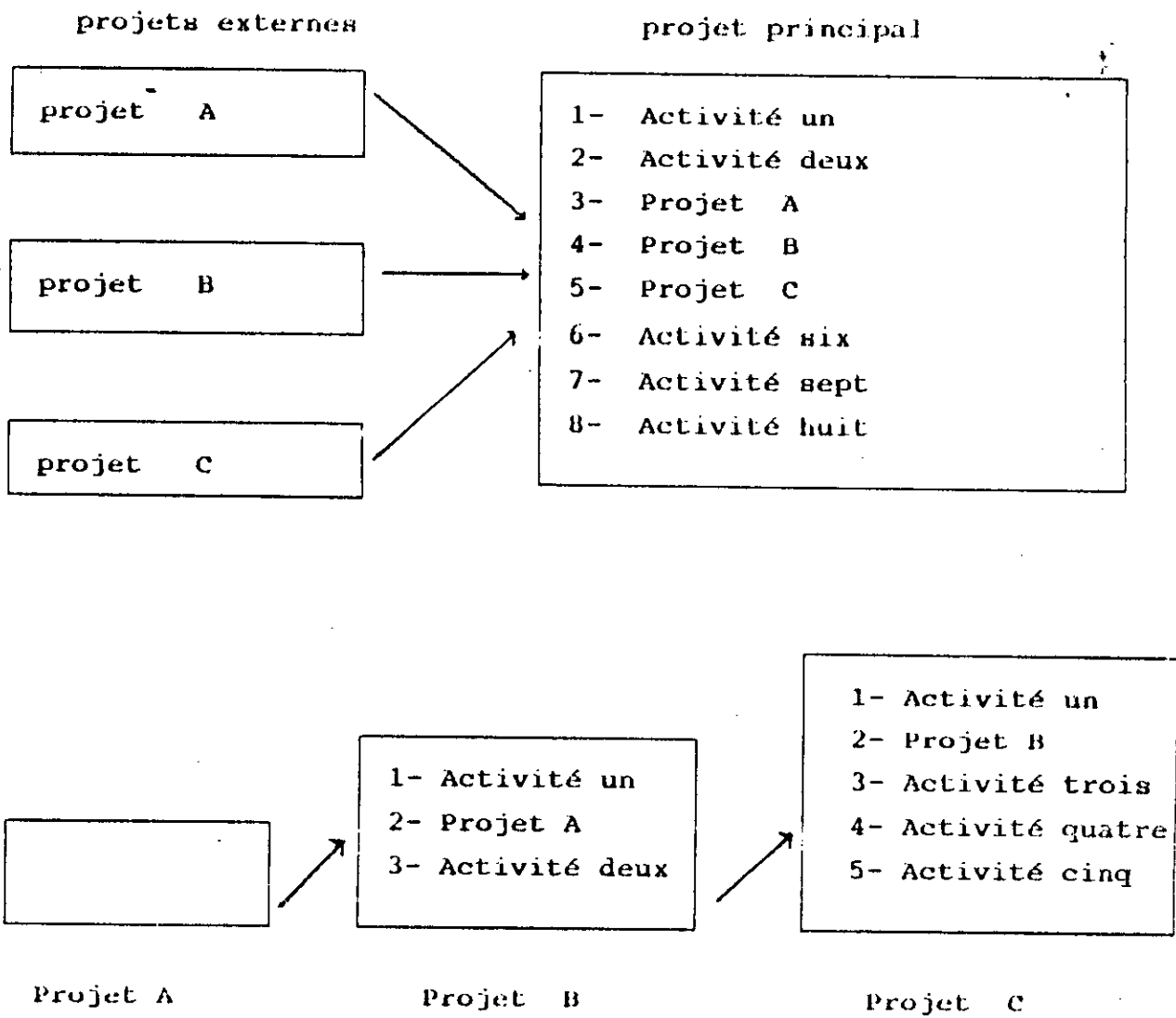
Les liaisons autorisées peuvent se présenter de différentes  
 appartenant comme telle dans la liste des activités de ce programme  
 totalité; devient une seule activité dans le projet principal et  
 des la mise en place de la liaison; le projet externe dans la  
 informations issues d'un autre (appelé externe).

d'utiliser dans un projet en cours (appelé principal); des  
 convention permanente entre deux fichiers; permettant ainsi  
 étendu; la commande "Xterne liaison" permet de définir une  
 Pour tenir confortablement dans un seul fichier un projet trop

analyser les écrits par rapport au prévisions.  
 On peut à tout moment situer l'avancement du programme et  
 courantes.

serviront justement à la comparaison avec les informations  
 plus possible d'un modifier les données puisque celles-ci  
 nous notions qu'une fois le fichier prévision construit il n'est  
 au moment de la première élaboration du planning.

relatives aux activités; aux calendrier et aux ressources saisies  
 fichier contenant les prévisions regroupe les informations



La capacité limitée à 999 tâches, 16 antécédants par tâche, 9 ressources par activité, 255 ressources par fichier, 50 000 jour-homme par ressource.

Tableau 3

RESULTATS DU PERT-TEMPS  
DATES

| NUMERO DE LA TACHE | DEBUT AU PLUS TOT | DEBUT AU PLUS TARD |
|--------------------|-------------------|--------------------|
| 1                  | 1/12/1990         | 25/06/1991         |
| 2                  | 1/12/1990         | 1/12/1990          |
| 3                  | 16/02/1991        | 10/09/1991         |
| 4                  | 26/01/1991        | 3/12/1991          |
| 5                  | 26/01/1991        | 26/01/1991         |
| 6                  | 23/02/1991        | 22/04/1991         |
| 7                  | 01/12/1990        | 06/08/1991         |
| 8                  | 25/05/1991        | 22/07/1991         |
| 9                  | 02/03/1991        | 29/04/1991         |
| 10                 | 03/06/1991        | 31/07/1991         |
| 11                 | 05/06/1991        | 04/08/1991         |
| 12                 | 19/06/1991        | 18/08/1991         |
| 13                 | 03/07/1991        | 24/09/1991         |
| 14                 | 10/07/1991        | 01/10/1991         |
| 15                 | 03/07/1991        | 01/09/1991         |
| 16                 | 13/07/1991        | 18/03/1992         |
| 17                 | 20/01/1991        | 25/08/1991         |
| 18                 | 10/08/1991        | 15/04/1992         |
| 19                 | 13/08/1991        | 20/04/1992         |
| 20                 | 13/07/1991        | 09/09/1991         |
| 21                 | 10/08/1991        | 07/10/1991         |
| 22                 | 18/08/1991        | 15/10/1991         |
| 23                 | 24/08/1991        | 26/11/1991         |

| NUMERO DE LA TACHE | DEBUT AU PLUS TOT | DEBUT AU PLUS TARD |
|--------------------|-------------------|--------------------|
| 24                 | 23/11/1991        | 04/04/1992         |
| 25                 | 07/09/1991        | 10/12/1991         |
| 26                 | 30/01/1991        | 04/09/1991         |
| 27                 | 02/11/1991        | 04/02/1992         |
| 28                 | 16/11/1991        | 18/02/1992         |
| 29                 | 23/11/1991        | 25/02/1992         |
| 30                 | 30/11/1991        | 03/03/1992         |
| 31                 | 24/08/1991        | 21/10/1991         |
| 32                 | 19/10/1991        | 16/12/1991         |
| 33                 | 20/11/1991        | 13/04/1992         |
| 34                 | 19/10/1991        | 04/04/1992         |
| 35                 | 19/10/1991        | 18/03/1992         |
| 36                 | 03/11/1991        | 04/04/1992         |
| 37                 | 20/11/1991        | 19/01/1992         |
| 38                 | 23/02/1991        | 23/02/1991         |
| 39                 | 20/04/1991        | 13/05/1991         |
| 40                 | 27/02/1991        | 02/10/1991         |
| 41                 | 18/05/1991        | 10/06/1991         |
| 42                 | 15/06/1991        | 08/07/1991         |
| 43                 | 07/09/1991        | 30/09/1991         |
| 44                 | 30/11/1991        | 04/04/1992         |
| 45                 | 20/04/1991        | 28/10/1991         |
| 46                 | 19/05/1991        | 26/11/1991         |
| 47                 | 24/04/1991        | 27/11/1991         |

| NUMERO DE LA TACHE | DEBUT AU PLUS TOT | DEBUT AU PLUS TARD |
|--------------------|-------------------|--------------------|
| 48                 | 27/05/1991        | 04/12/1991         |
| 49                 | 15/06/1991        | 23/12/1991         |
| 50                 | 10/08/1991        | 17/02/1992         |
| 51                 | 31/08/1991        | 09/03/1992         |
| 52                 | 08/09/1991        | 17/03/1992         |
| 53                 | 20/04/1991        | 20/04/1991         |
| 54                 | 18/06/1991        | 11/08/1991         |
| 55                 | 02/06/1991        | 05/01/1992         |
| 56                 | 16/07/1991        | 08/09/1991         |
| 57                 | 04/08/1991        | 25/09/1991         |
| 58                 | 29/09/1991        | 20/11/1991         |
| 59                 | 24/11/1991        | 03/03/1992         |
| 60                 | 18/06/1991        | 18/06/1991         |
| 61                 | 16/07/1991        | 16/07/1991         |
| 62                 | 13/08/1991        | 13/08/1991         |
| 63                 | 15/09/1991        | 04/04/1992         |
| 64                 | 15/09/1991        | 15/09/1991         |
| 65                 | 01/10/1991        | 05/02/1992         |
| 66                 | 09/07/1991        | 11/02/1992         |
| 67                 | 08/10/1991        | 12/02/1992         |
| 68                 | 13/10/1991        | 17/02/1992         |
| 69                 | 10/11/1991        | 16/03/1992         |
| 70                 | 22/12/1991        | 27/04/1992         |
| 71                 | 01/10/1991        | 01/10/1991         |

| NUMERO DE LA TACHE | DEBUT AU PLUS TOT | DEBUT AU PLUS TARD |
|--------------------|-------------------|--------------------|
| 72                 | 19/10/1991        | 19/10/1991         |
| 73                 | 20/07/1991        | 22/02/1992         |
| 74                 | 02/11/1991        | 02/11/1991         |
| 75                 | 11/11/1991        | 11/11/1991         |
| 76                 | 09/12/1991        | 09/12/1991         |
| 77                 | 15/01/1992        | 04/04/1992         |
| 78                 | 19/10/1991        | 28/01/1992         |
| 79                 | 04/11/1991        | 15/02/1992         |
| 80                 | 06/08/1991        | 10/03/1992         |
| 81                 | 12/11/1991        | 23/02/1992         |
| 82                 | 23/11/1991        | 03/03/1992         |
| 83                 | 09/12/1991        | 21/03/1992         |
| 84                 | 02/07/1991        | 26/01/1992         |
| 85                 | 16/07/1991        | 09/02/1992         |
| 86                 | 30/07/1991        | 23/02/1992         |
| 87                 | 18/08/1991        | 22/03/1992         |
| 88                 | 13/08/1991        | 08/03/1992         |
| 89                 | 24/08/1991        | 17/03/1992         |
| 90                 | 18/06/1991        | 12/01/1992         |
| 91                 | 02/07/1991        | 08/02/1992         |
| 92                 | 30/07/1991        | 07/03/1992         |
| 93                 | 27/08/1991        | 04/04/1992         |
| 94                 | 16/08/1991        | 25/02/1992         |
| 95                 | 23/08/1991        | 03/03/1992         |



| NUMERO DE LA TACHE | DEBUT AU PLUS TOT | DEBUT AU PLUS TARD |
|--------------------|-------------------|--------------------|
| 96                 | 04/09/1991        | 08/04/1992         |
| 97                 | 28/07/1991        | 08/03/1992         |
| 98                 | 06/08/1991        | 17/03/1992         |
| 99                 | 03/09/1991        | 14/04/1992         |
| 100                | 11/09/1991        | 22/04/1992         |
| 101                | 15/01/1992        | 31/03/1992         |
| 102                | 22/01/1992        | 07/04/1992         |
| 103                | 23/09/1991        | 27/04/1992         |
| 104                | 29/01/1992        | 14/04/1992         |
| 105                | 02/02/1992        | 18/04/1992         |
| 106                | 09/02/1992        | 25/04/1992         |
| 107                | 22/11/1992        | 14/04/1992         |
| 108                | 30/11/1991        | 23/12/1991         |
| 109                | 24/11/1991        | 15/01/1992         |
| 110                | 30/11/1991        | 20/04/1992         |
| 111                | 22/12/1991        | 11/04/1992         |
| 112                | 22/12/1991        | 22/01/1992         |
| 113                | 22/12/1991        | 22/01/1992         |
| 114                | 22/12/1991        | 14/01/1992         |
| 115                | 22/12/1991        | 03/02/1992         |
| 116                | 22/12/1991        | 29/01/1992         |
| 117                | 15/12/1991        | 29/01/1992         |
| 118                | 22/12/1991        | 04/04/1992         |
| 119                | 22/12/1991        | 03/02/1992         |

| NUMERO DE LA TACHE | DEBUT AU PLUS TOT | DEBUT AU PLUS TARD |
|--------------------|-------------------|--------------------|
| 120                | 15/12/1991        | 07/01/1992         |
| 121                | 22/12/1991        | 07/04/1992         |
| 122                | 15/12/1991        | 04/04/1992         |
| 123                | 15/12/1991        | 04/04/1992         |
| 124                | 13/01/1992        | 18/04/1992         |
| 125                | 04/12/1991        | 18/04/1992         |
| 126                | 04/12/1991        | 21/03/1992         |
| 127                | 18/12/1991        | 04/04/1992         |
| 128                | 08/01/1992        | 18/04/1992         |
| 129                | 15/12/1991        | 21/04/1992         |
| 130                | 04/12/1991        | 27/04/1992         |
| 131                | 04/12/1991        | 27/04/1992         |
| 132                | 04/12/1991        | 02/02/1992         |
| 133                | 04/12/1991        | 27/04/1992         |
| 134                | 15/01/1992        | 15/01/1992         |
| 135                | 05/02/1992        | 05/02/1992         |
| 136                | 04/04/1992        | 04/04/1992         |

## ANNEXE N° 5

PROBABILITES D'ACHEVEMENT DU PROJET A DES DATES D  
 VARIANT AUTOUR DE LA MOYENNE

| D(en jours) | D(en semaines) | (D-T)/ $\sigma$ | Probabilités(%) |
|-------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 340         | 68             | -4.35           | 0               |
| 341         | 68.20          | -4.21           | 0               |
| 342         | 68.40          | -4.05           | 0               |
| 343         | 68.60          | -3.92           | 0.004           |
| 344         | 68.80          | -3.77           | 0.008           |
| 345         | 69             | -3.63           | 0.014           |
| 350         | 70             | -2.30           | 1.072           |
| 355         | 71             | -2.17           | 1.500           |
| 360         | 72             | -1.45           | 7.353           |
| 365         | 73             | -0.72           | 23.580          |
| 367         | 73.40          | -0.43           | 33.360          |
| 369         | 73.80          | -0.14           | 44.430          |
| 370         | 74             | 0               | 50.000          |
| 371         | 74.20          | 0.14            | 55.570          |
| 372         | 74.40          | 0.23            | 59.100          |
| 373         | 74.60          | 0.43            | 66.640          |
| 374         | 74.80          | 0.53            | 70.190          |
| 375         | 75             | 0.72            | 76.420          |
| 376         | 75.20          | 0.87            | 80.780          |
| 377         | 75.40          | 1.01            | 84.380          |
| 378         | 75.60          | 1.15            | 87.490          |
| 379         | 75.80          | 1.30            | 90.320          |
| 380         | 76             | 1.45            | 92.647          |
| 381         | 76.20          | 1.53            | 93.699          |
| 382         | 76.40          | 1.74            | 95.907          |
| 383         | 76.60          | 1.83            | 96.638          |
| 384         | 76.80          | 2.03            | 97.882          |
| 385         | 77             | 2.18            | 98.537          |
| 386         | 77.20          | 2.32            | 98.983          |

| D(en jours) | D(en semaines) | (D-T)/ $\sigma$ | Probabilités(%) |
|-------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 387         | 77.40          | 2.46            | 99.305          |
| 388         | 77.60          | 2.61            | 99.547          |
| 389         | 77.80          | 2.76            | 99.711          |
| 390         | 78             | 2.80            | 99.744          |
| 391         | 78.20          | 3.04            | 99.882          |
| 392         | 78.40          | 3.13            | 99.913          |
| 393         | 78.60          | 3.33            | 99.957          |
| 394         | 78.80          | 3.43            | 99.970          |
| 395         | 79             | 3.63            | 99.986          |
| 396         | 79.20          | 3.77            | 99.992          |
| 397         | 79.40          | 3.92            | 99.996          |
| 398         | 79.60          | 4.05            | 99.998          |
| 399         | 79.80          | 4.21            | 100.000         |
| 400         | 80             | 4.35            | 100.000         |

## DESCRIPTION D'UNE METHODE PERT-CHARGE

L'homme est un élément fondamental et déterminant dans toutes entreprises car mal utilisé, il pèse considérablement sur les coûts.

C'est pour cette raison que nous allons citer une technique qui pour tenir compte des contraintes limitant la capacité de l'entreprise en effectif, elle opère en trois phases.

-METHODE DE BURGESS ET KILLEBREW:

Cette méthode est relative à une seule catégorie de moyens : la main d'oeuvre (toutes spécialités confondues), elle donne une meilleure répartition de l'effectif autour de la moyenne. Soit à donner l'exemple suivant:

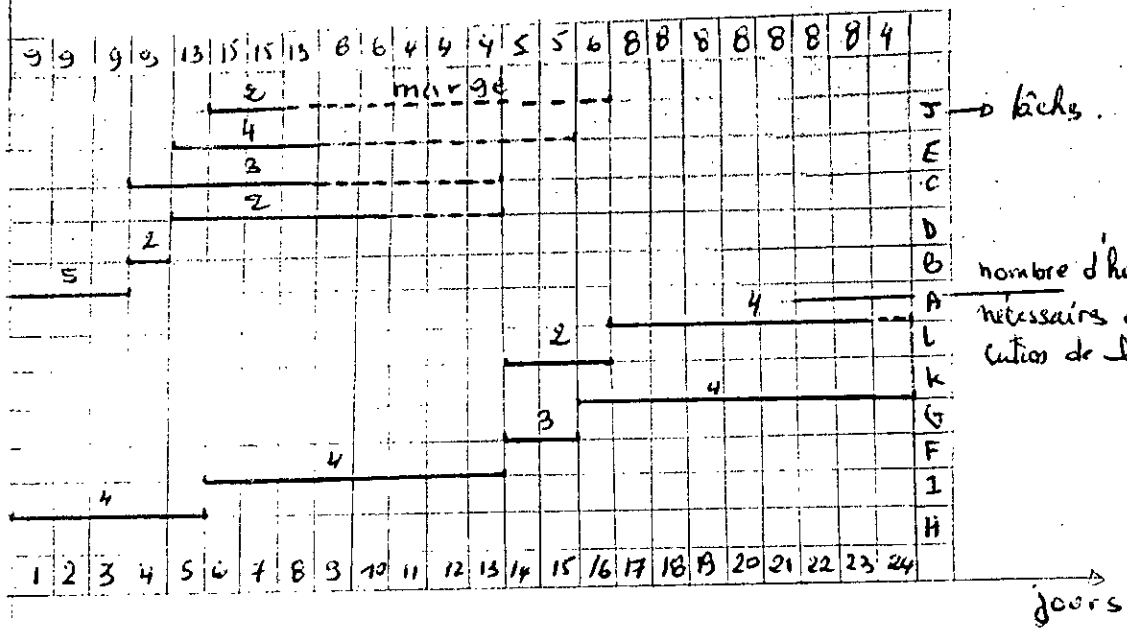
|                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|
| nombre d'exécutants | 5 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2  | 2 | 4 |
| durée (jour)        | 3 | 1 | 5 | 6 | 4 | 2 | 9 | 8 | 8 | 2  | 3 | 7 |
| marge totale        | 3 | 3 | 5 | 3 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 1 | 1 |
| tâches              | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J  | K | L |

1- On positionne les tâches à leurs dates de début au plus tôt et on totalise en bas du graphe PERT le nombre d'exécutants jour par jour.

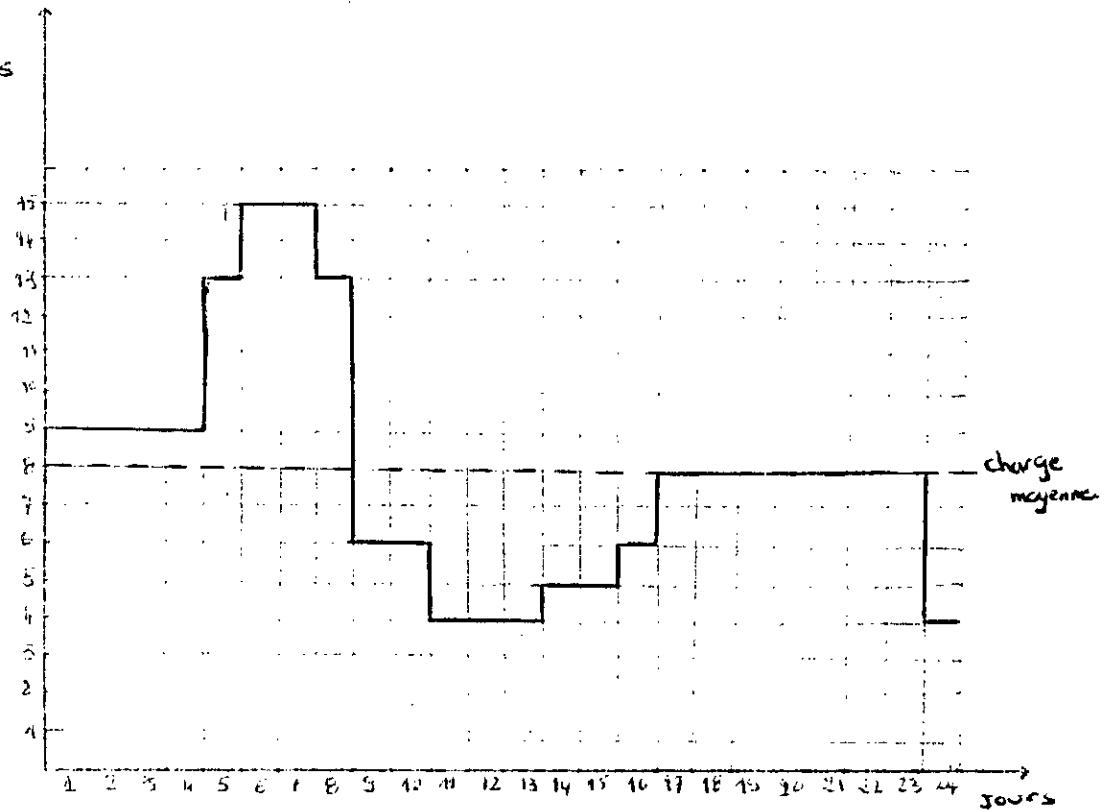
On trace ensuite la courbe de charge correspondant à ces chiffres, on obtient la figure suivante:

# Diagramme de Gantt.

charges  
cumulées

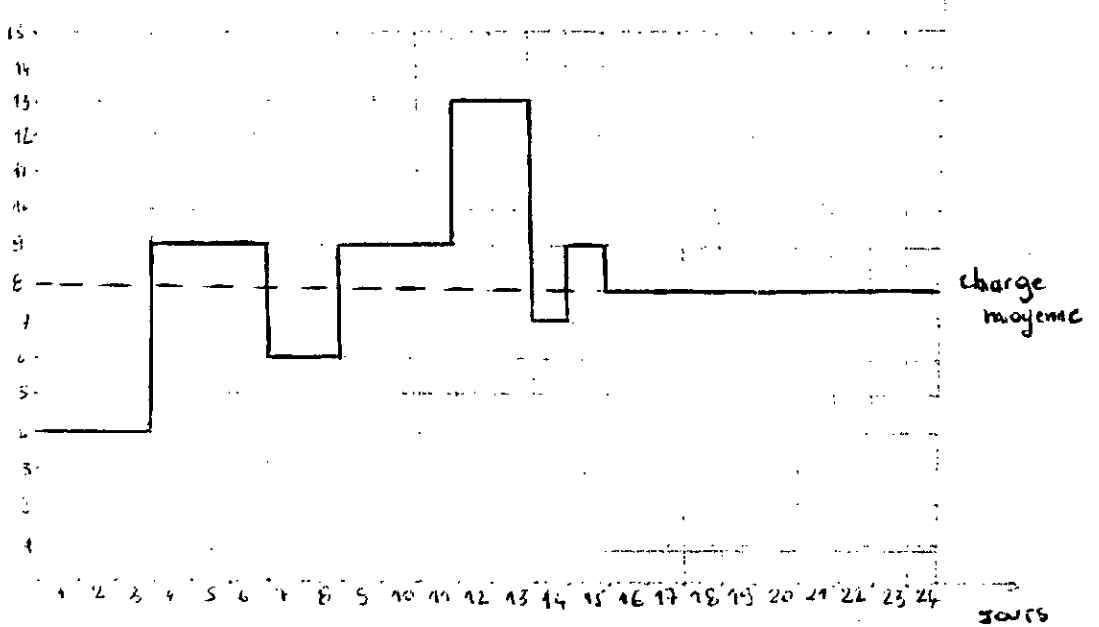


nombre  
d'ouvriers



2-On fait la même chose en positionnant les tâches à leurs dates au plus tard, On obtient la figure suivante :

nombre  
d'ouvriers



En troisième phase, on essaye de lisser, niveler le plus possible les courbes obtenues, de façon à aboutir à une charge la plus régulière possible, c'est à dire une dispersion la plus faible possible autour de la charge moyenne; pour cela, on remarque que le fait de déplacer une tâche à l'intérieur de sa marge ne modifie pas cette charge moyenne qui est égale au rapport :

$$CM = \frac{\text{charge totale}}{\text{durée totale}}$$

pour cet exemple on trouve  $CM = \frac{192 \text{ jours hommes}}{24 \text{ jours (durée du chemin critique)}}$

$$CM = 8 \text{ hommes}$$

Or on montre que la somme des carrés  $\sum_{i=1}^n x_i^2$  d'une suite de  $n$  nombres  $x_i$  dont la moyenne  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  est constante, est minimale

lorsque ces nombres sont égaux à cette moyenne.

Ce théorème est utilisé pour l'application de la technique considérée :

-On positionne toutes les tâches au plus tôt et on calcule la somme des carrés des charges

-On prend la dernière tâche et on la déplace d'un jour, vers la droite (en utilisant sa marge)

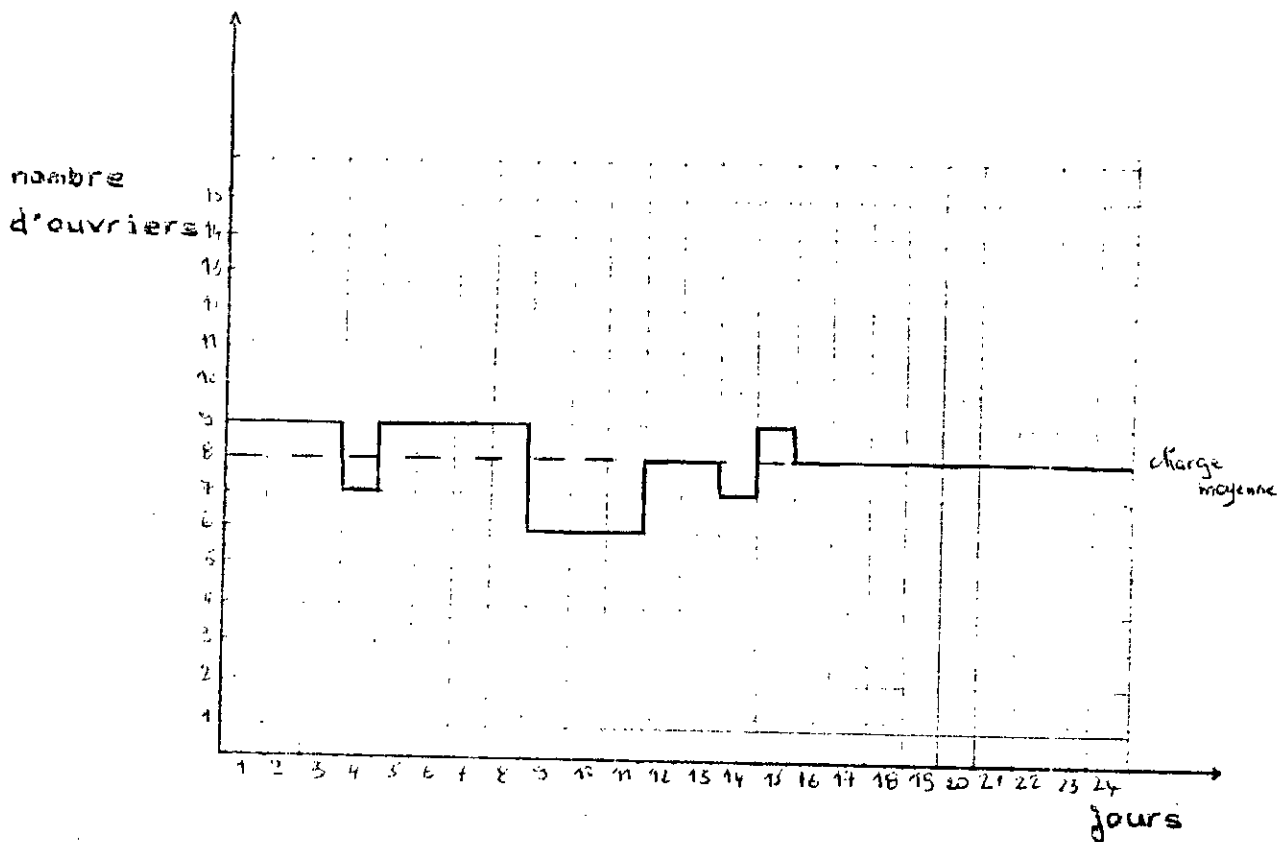
-On recalcule la somme des carrés des charges. Si celle ci a diminué, on continue; Lorsqu'elle augmente, on revient à l'état précédent



-On prend ensuite l'avant dernière tâche (disposant d'une marge) et on procède de même, et ainsi de suite . Pour chaque tâche on s'arrête à la position qui minimise la somme des carrés des charges.

Lorsqu'on est arrivé à un minimum général, on a la courbe la plus régulière possible :

courbe de charge  
nivelée



## DONNEES D'ENTREE DE L'HEURISTIQUE

| A  | B   | C   | D   | E | F | G | H | I | J | K |
|----|-----|-----|-----|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  | 0   | 148 | 55  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 4 |
| 2  | 0   | 40  | 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3  | 55  | 203 | 167 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 8 |
| 4  | 40  | 263 | 107 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| 5  | 40  | 40  | 20  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6  | 60  | 102 | 5   | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| 7  | 0   | 178 | 13  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 8  | 125 | 167 | 7   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 9  | 65  | 107 | 60  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| 10 | 132 | 174 | 2   | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 8 |
| 11 | 134 | 176 | 10  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 12 | 144 | 186 | 10  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 13 | 154 | 213 | 5   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| 14 | 159 | 218 | 10  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 15 | 154 | 196 | 6   | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 16 | 160 | 339 | 20  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| 17 | 36  | 191 | 8   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 18 | 180 | 359 | 3   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 19 | 183 | 362 | 8   | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 20 | 160 | 202 | 20  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 21 | 180 | 222 | 6   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 22 | 186 | 228 | 4   | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 23 | 190 | 258 | 10  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 24 | 255 | 350 | 20  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 200 | 268 | 40  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| 26 | 44  | 199 | 20  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 27 | 240 | 308 | 10  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 28 | 250 | 318 | 5   | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 29 | 255 | 323 | 5   | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 30 | 260 | 328 | 20  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 8 |
| 31 | 190 | 232 | 40  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 |
| 32 | 230 | 272 | 24  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 |
| 33 | 254 | 357 | 13  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 34 | 230 | 350 | 20  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 35 | 230 | 339 | 11  | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 36 | 241 | 350 | 20  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 37 | 254 | 296 | 10  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| 38 | 60  | 60  | 40  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 39 | 100 | 117 | 20  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |

|    |     |     |    |   |   |   |   |   |   |   |
|----|-----|-----|----|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 64  | 219 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 41 | 120 | 137 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 42 | 140 | 157 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| 43 | 200 | 217 | 60 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 44 | 260 | 350 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 45 | 100 | 237 | 21 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 46 | 121 | 258 | 6  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 47 | 104 | 259 | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 48 | 127 | 264 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 49 | 140 | 277 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| 50 | 180 | 317 | 15 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 51 | 195 | 332 | 6  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 52 | 201 | 338 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 53 | 100 | 100 | 43 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 54 | 143 | 181 | 20 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 55 | 131 | 286 | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 56 | 163 | 201 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 57 | 176 | 214 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| 58 | 216 | 254 | 40 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 59 | 256 | 328 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 60 | 143 | 143 | 20 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 61 | 163 | 163 | 20 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 62 | 183 | 183 | 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 63 | 206 | 350 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 64 | 206 | 206 | 12 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 65 | 218 | 309 | 5  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 66 | 158 | 313 | 7  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 67 | 223 | 314 | 3  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 68 | 226 | 317 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| 69 | 246 | 337 | 30 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 70 | 276 | 367 | 3  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 71 | 218 | 218 | 12 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 72 | 230 | 230 | 10 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 73 | 165 | 320 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 74 | 240 | 240 | 7  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 75 | 247 | 247 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| 76 | 267 | 267 | 27 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 77 | 294 | 350 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| 78 | 230 | 303 | 12 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 79 | 242 | 315 | 6  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| 80 | 178 | 333 | 8  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 81 | 248 | 321 | 7  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |

|     |     |     |    |   |   |   |   |   |   |    |
|-----|-----|-----|----|---|---|---|---|---|---|----|
| 82  | 255 | 328 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5  |
| 83  | 267 | 340 | 8  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7  |
| 84  | 153 | 301 | 10 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2  |
| 85  | 163 | 311 | 10 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7  |
| 86  | 173 | 321 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3  |
| 87  | 186 | 341 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2  |
| 88  | 183 | 331 | 7  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2  |
| 89  | 190 | 338 | 10 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7  |
| 90  | 143 | 291 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  |
| 91  | 153 | 310 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  |
| 92  | 173 | 330 | 20 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7  |
| 93  | 193 | 350 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| 94  | 163 | 323 | 3  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3  |
| 95  | 168 | 328 | 3  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7  |
| 96  | 199 | 354 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2  |
| 97  | 171 | 331 | 7  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2  |
| 98  | 178 | 338 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5  |
| 99  | 193 | 353 | 6  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7  |
| 100 | 204 | 364 | 6  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  |
| 101 | 294 | 348 | 5  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3  |
| 102 | 299 | 353 | 5  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7  |
| 103 | 212 | 367 | 3  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2  |
| 104 | 304 | 358 | 2  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2  |
| 105 | 306 | 360 | 5  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5  |
| 106 | 311 | 365 | 5  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7  |
| 107 | 299 | 358 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3  |
| 108 | 260 | 277 | 11 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2  |
| 109 | 256 | 294 | 10 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0  |
| 110 | 260 | 362 | 8  | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0  |
| 111 | 276 | 355 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1  |
| 112 | 176 | 299 | 10 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 4  |
| 113 | 276 | 299 | 10 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0  |
| 114 | 276 | 293 | 16 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0  |
| 115 | 276 | 307 | 2  | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0  |
| 116 | 276 | 304 | 5  | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0  |
| 117 | 271 | 304 | 5  | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0  |
| 118 | 276 | 308 | 1  | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0  |
| 119 | 276 | 308 | 1  | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0  |
| 120 | 271 | 288 | 5  | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0  |
| 121 | 276 | 353 | 17 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0  |
| 122 | 271 | 350 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2  |
| 123 | 271 | 350 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1  |

|     |     |     |    |   |   |   |   |   |   |   |
|-----|-----|-----|----|---|---|---|---|---|---|---|
| 124 | 292 | 360 | 10 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 |
| 125 | 264 | 365 | 5  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 126 | 264 | 340 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 |
| 127 | 274 | 350 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 |
| 128 | 289 | 365 | 5  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 129 | 271 | 363 | 7  | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 130 | 264 | 367 | 3  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 131 | 264 | 367 | 3  | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 4 |
| 132 | 264 | 306 | 3  | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 4 |
| 133 | 264 | 367 | 3  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| 134 | 294 | 294 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 8 |
| 135 | 309 | 309 | 41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 |
| 136 | 350 | 350 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |

A: numéro de la tâche;  
B: date de début au plus tôt;  
C: date de début au plus tard;  
D: durée;  
E: la grue;  
F: la pelle hydraulique;  
G: la bétonnière;  
H: le monteur;  
I: l'électricien;  
J: l'ouvrier qualifié;  
K: le manoeuvre.

Tableau 6

| N° DE LA TACHE | DESIGNATION                        |
|----------------|------------------------------------|
| 1              | INSTALLATION DE CHANTIER           |
| 2              | TERRASSEMENT                       |
| 3              | PREFABRICATION                     |
| 4              | MISE EN PLACE                      |
| 5              | EXCAVATION (FONDATION)             |
| 6              | BETON DE PROPRETE                  |
| 7              | FERRAILLAGE-FACONNAGE-             |
| 8              | FERRAILLAGE-MISE EN PLACE          |
| 9              | COFFRAGE                           |
| 10             | BETON ARME                         |
| 11             | REMBLAI DE FOUILLES+COMPACTAGE     |
| 12             | HERRISSON DE PIERRE (NIVEAU -2M)   |
| 13             | TREULLIS SOUDES                    |
| 14             | BETON ARME                         |
| 15             | VOILE EN BETON                     |
| 16             | COFFRAGE (POTEAUX)                 |
| 17             | FERRAILLAGE-FACONNAGE -            |
| 18             | FERRAILLAGE-MISE EN PLACE-         |
| 19             | BETON ARME                         |
| 20             | REMBLAI +COMPACTAGE (PLANCHER BAS) |
| 21             | TREULLIS SOUDES                    |
| 22             | BETON ARME                         |
| 23             | CANIVEAUX                          |
| 24             | TROTTOIR                           |
| 25             | COFFRAGE (PLANCHER HAUT)           |
| 26             | FERRAILLAGE-FACONNAGE-             |
| 27             | FERRAILLAGE-MISE EN PLACE-         |
| 28             | BETON ARME                         |
| 29             | ACCROTERES                         |
| 30             | ETANCHEITE                         |
| 31             | MURS (MACONNERIE)                  |
| 32             | ENDUIT                             |
| 33             | CARRELAGES -FAIENCES               |
| 34             | MENUISERIE                         |
| 35             | ELECTRICITE                        |
| 36             | PEINTURE                           |
| 37             | PLOMBERIE                          |
| 38             | EXCAVATION (GRANDS MASSIFS)        |
| 39             | BETON DE PROPRETE                  |

|    |  |
|----|--|
| 40 | FERRAILLAGE- FACONNAGE-                          |
| 41 | FERRAILLAGE-MISE EN PLACE-                       |
| 42 | COFFRAGE   |
| 43 | BETON ARME                                       |
| 44 | REMBLAI  |
| 45 | EXCAVATION (FOSSE TRANSFO+CHEMIN DE<br>ROULEMENT |
| 46 | BETON DE PROPLETE                                |
| 47 | FERRAILLAGE-FACONNAGE-                           |
| 48 | FERRAILLAGE-MISE EN PLACE-                       |
| 49 | COFFRAGE   |
| 50 | BETON ARME                                       |
| 51 | BETON DE FORME                                   |
| 52 | ELEMENTS METALLIQUES                             |
| 53 | EXCAVATION (PETIT MASSIFS)                       |
| 54 | BETON DE PROPLETE                                |
| 55 | FERRAILLAGE-FACONNAGE-                           |
| 56 | FERRAILLAGE-MISE EN PLACE-                       |
| 57 | COFFRAGE   |
| 58 | BETON ARME                                       |
| 59 | REMBLAI  |
| 60 | EXCAVATION (DRAINAGE)                            |
| 61 | GROS BETON                                       |
| 62 | POSE DE BUSES                                    |
| 63 | POSE GRAVILLONS                                  |
| 64 | EXCAVATION (REGARD DE DRAINAGE)                  |
| 65 | BETON DE PROPLETE                                |
| 66 | FERRAILLAGE-FACONNAGE-                           |
| 67 | FERRAILLAGE-MISE EN PLACE-                       |
| 68 | COFFRAGE   |
| 69 | BETON ARME                                       |
| 70 | TAMPONS  |
| 71 | EXCAVATION (CANIVEAUX)                           |
| 72 | BETON DE PROPLETE                                |
| 73 | FERRAILLAGE-FACONNAGE-                           |
| 74 | FERRAILLAGE-MISE EN PLACE-                       |
| 75 | COFFRAGE   |
| 76 | BETON  |
| 77 | DALETTES   |
| 78 | EXCAVATION (CHAMBRE DE TIRAGE)                   |
| 79 | BETON DE PROPRET-                                |
| 80 | FERRAILLAGE-FACONNAGE-                           |



|     |                                      |
|-----|--------------------------------------|
| 81  | FERRAILLAGE-MISE EN PLACE-           |
| 82  | COFFRAGE                             |
| 83  | BETON ARME                           |
| 84  | EXCAVATION (PASSAGE DE CABLE)        |
| 85  | BETON DE PROPLETE                    |
| 86  | POSE DE TUBES P V C                  |
| 87  | FERRAILLAGE-FACONNAGE-               |
| 88  | FERRAILLAGE-MISE EN PLACE-           |
| 89  | BETON ARME                           |
| 90  | EXCAVATION (VOIES)                   |
| 91  | ENCAISSEMENT                         |
| 92  | BETON ARME                           |
| 93  | BORDURES                             |
| 94  | EXCAVATION (FOSSE SEPTIQUE)          |
| 95  | BETON DE PROPLETE                    |
| 96  | FERRAILLAGE-FACONNAGE-               |
| 97  | FERRAILLAGE-MISE EN PLACE-           |
| 98  | COFFRAGE                             |
| 99  | BETON ARME                           |
| 100 | TAMPONS                              |
| 101 | EXCAVATION (RESERVE D'EAU)           |
| 102 | BETON DE PROPLETE                    |
| 103 | FERRAILLAGE-FACONNAGE-               |
| 104 | FERRAILLAGE-MISE EN PLACE-           |
| 105 | COFFRAGE                             |
| 106 | BETON ARME                           |
| 107 | GRAVILLONNAGE                        |
| 108 | CHARPENTE PRINCIPALE (MONTAGE)       |
| 109 | CHARPENTE SECONDAIRE                 |
| 110 | POTEAUX EMERGENCE                    |
| 111 | POINTE DE DIAMENT                    |
| 112 | MONTAGE TRANSFO (HT/MT/MALT)         |
| 113 | MONTAGE DISJONCTEURS                 |
| 114 | MONTAGE SECTIONNEURS                 |
| 115 | MONTAGE JEUX DE BARRES               |
| 116 | MONTAGE TRANSFO + SERVICE AUXILIAIRE |
| 117 | MONTAGE RESEAU MALT                  |
| 118 | MONTAGE TT + CB                      |
| 119 | MONTAGE PARAFoudre                   |
| 120 | TENDUES                              |
| 121 | BRETELLES                            |
| 122 | EXCAVATION (MALT)                    |

|     |                              |
|-----|------------------------------|
| 123 | RACCORDEMENT (MALT)          |
| 124 | LIAISON 33KV                 |
| 125 | MONTAGE B A C INTERIEUR      |
| 126 | MONTAGE CELLULE              |
| 127 | LIAISON EMERGENCE            |
| 128 | MONTAGE B A C EXTERIEUR      |
| 129 | ECLAIRAGE (BT/HF)            |
| 130 | EQUIPEMENT SALLE DE BATTERIE |
| 131 | SERVICE AUXILIAIRE           |
| 132 | TABLEAU DE RELAYAGE          |
| 133 | EQUIPEMENTS HF               |
| 134 | TIRAGE CABLE BT              |
| 135 | RACCORDEMENT BT              |
| 136 | CONTROLE KAHRAKIB            |

## ANNEXE N° 8

## PROBLEMES TEST

PROBLEME . 1

| N°TACHE | DPT | DPD | DUREE | RES1 | RES2 | RES3 | RES4 | RES5 |
|---------|-----|-----|-------|------|------|------|------|------|
| 1       | 0   | 0   | 1     | 0    | 0    | 1    | 3    | 1    |
| 2       | 1   | 6   | 2     | 0    | 0    | 2    | 2    | 1    |
| 3       | 2   | 2   | 3     | 0    | 0    | 2    | 1    | 0    |
| 4       | 3   | 3   | 2     | 0    | 0    | 1    | 3    | 1    |
| 5       | 3   | 8   | 1     | 0    | 0    | 2    | 3    | 0    |
| 6       | 1   | 1   | 1     | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    |

Le calendrier d'exécution résultant du PERT-temps est:

| N°TACHE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------|---|---|---|---|---|---|
| DDB     | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 |

Le vecteur des ressources disponibles est:  $V=[1,1,2,3,1]$ .

Le calendrier d'exécution obtenu après lissage est:

| N°TACHE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------|---|---|---|---|---|---|
| DDB     | 0 | 7 | 2 | 5 | 8 | 1 |

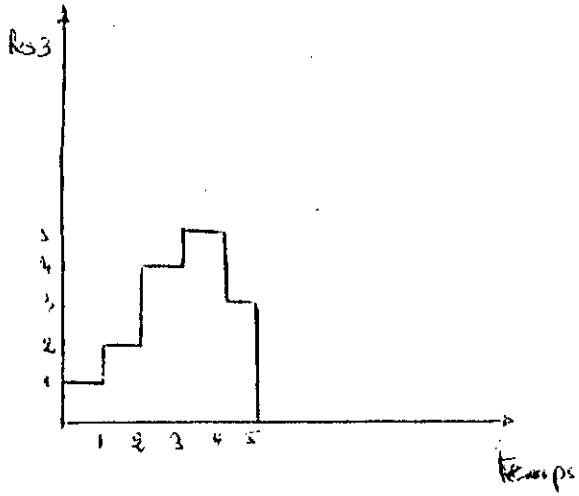
Durant l'exécution du programme, la tâche n°2 a été interrompue à la date 2; pour commencer la tâche critique n°3 à sa date DPT (après une durée d'exécution d'une unité de temps).

# Histogrammes

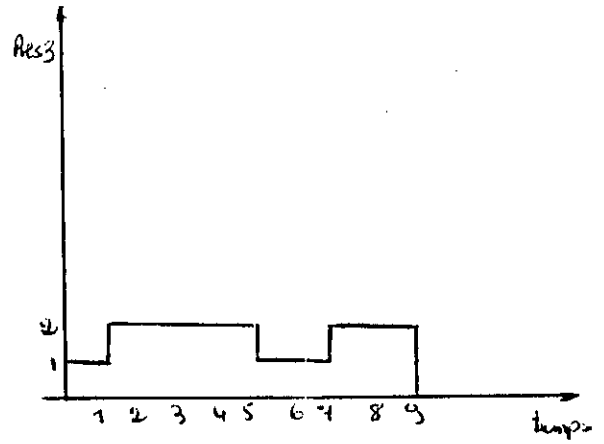
## problème 1

Ressource 3

Avant lissage

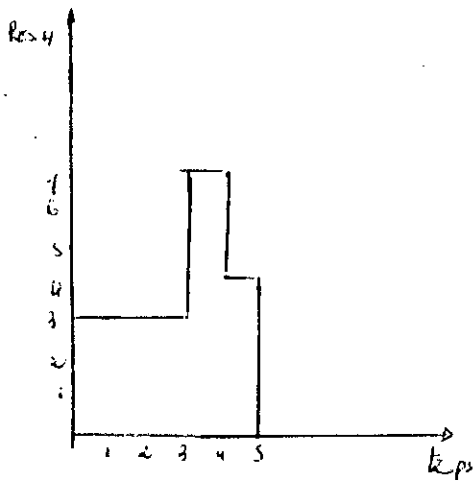


Après lissage

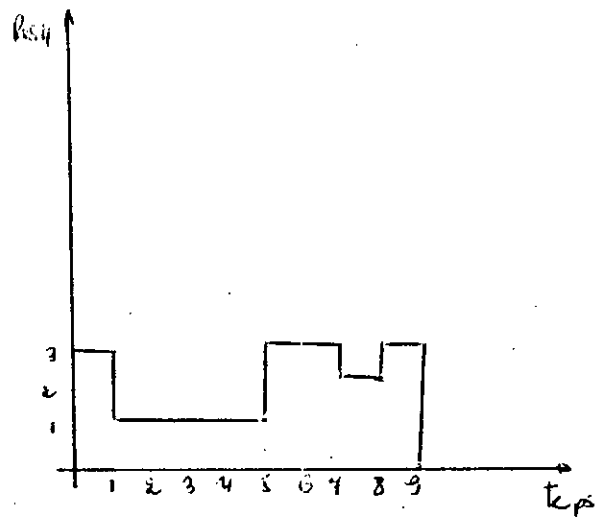


Ressource 4

Avant lissage



Après lissage



PROBLEME.2

| N°TACHE | DPT | DFD | DUREE | RES1 | RES2 | RES3 | RES4 | RES5 |
|---------|-----|-----|-------|------|------|------|------|------|
| 1       | 0   | 0   | 6     | 0    | 1    | 0    | 2    | 6    |
| 2       | 0   | 1   | 3     | 0    | 1    | 0    | 3    | 7    |
| 3       | 0   | 3   | 5     | 0    | 0    | 0    | 3    | 6    |
| 4       | 3   | 4   | 2     | 0    | 1    | 0    | 2    | 5    |
| 5       | 3   | 5   | 4     | 0    | 1    | 0    | 1    | 3    |
| 6       | 6   | 6   | 3     | 1    | 1    | 2    | 2    | 13   |
| 7       | 9   | 9   | 1     | 1    | 1    | 3    | 2    | 5    |

Le calendrier d'exécution donné par le PERT-temps est:

| N°TACHE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|
| DDB     | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 6 | 9 |

Le vecteur des ressources disponibles est  $V=[2,3,5,7,20]$ .

Le calendrier obtenu après lissage est le suivant:

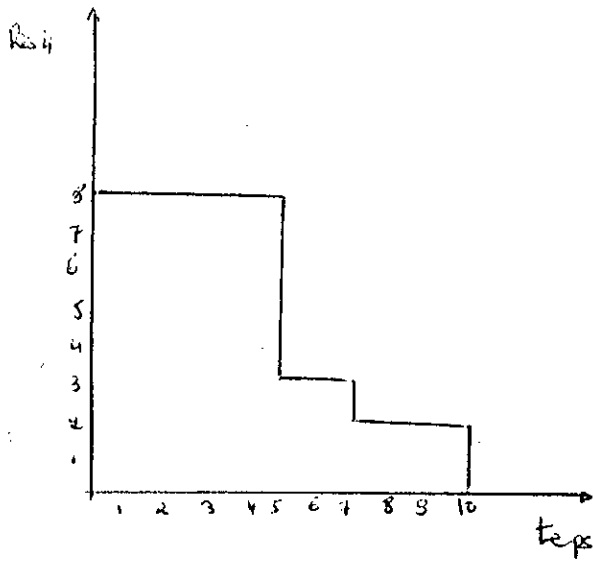
| N°TACHE         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|
| DD <sub>l</sub> | 0 | 0 | 3 | 3 | 5 | 8 | 9 |

# Histogrammes

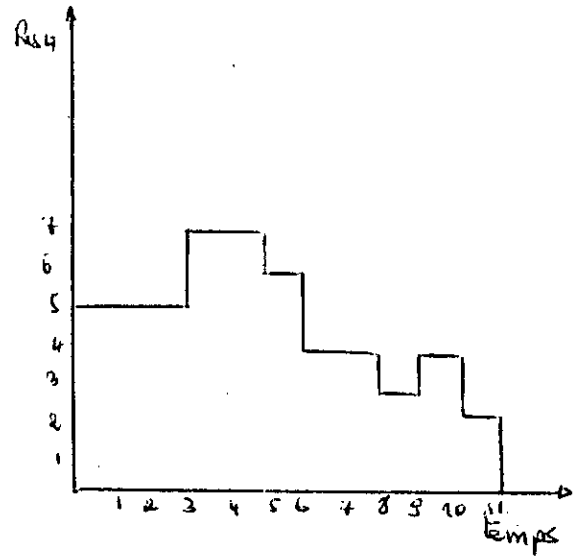
## problème 2:

Ressource 4

Avant lissage

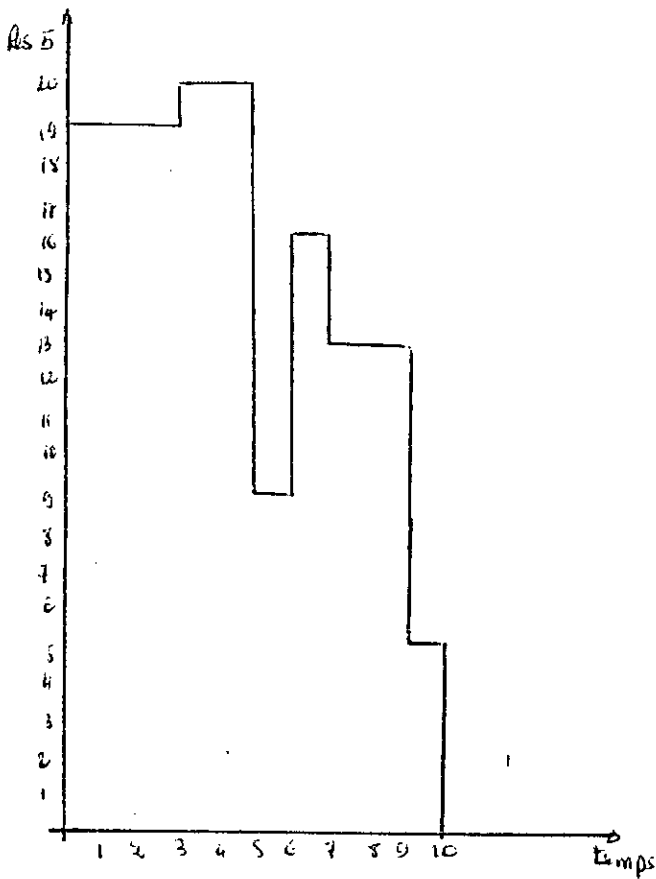


Après lissage

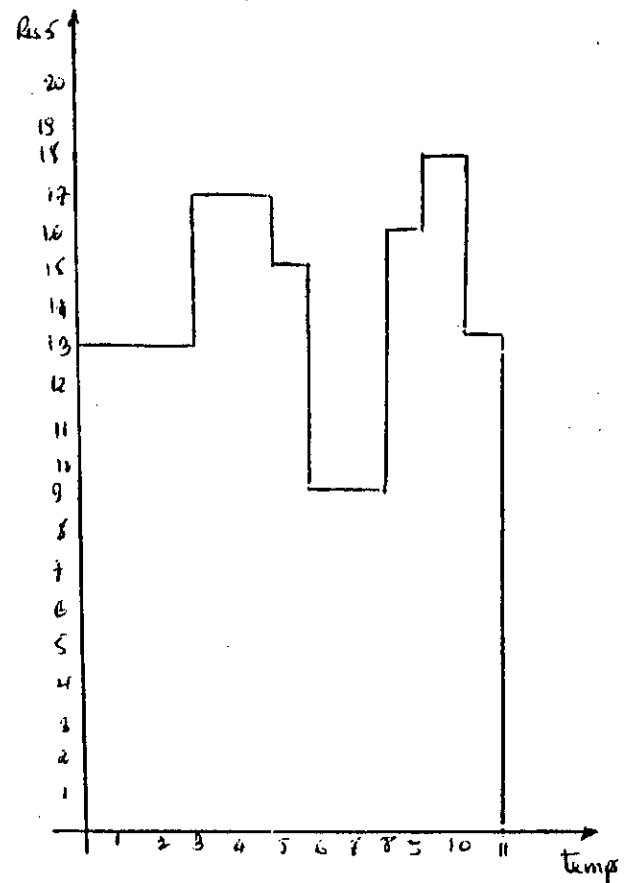


Ressource 5

avant lissage



Après lissage



PROBLEME 3

| N°TACHE | DPT | DPD | DUREE | RES1 | RES2 | RES3 | RES4 | RES5 |
|---------|-----|-----|-------|------|------|------|------|------|
| 1       | 0   | 0   | 1     | 0    | 0    | 1    | 3    | 1    |
| 2       | 0   | 1   | 2     | 0    | 0    | 2    | 2    | 1    |
| 3       | 0   | 0   | 1     | 0    | 0    | 2    | 1    | 0    |
| 4       | 1   | 1   | 1     | 0    | 0    | 1    | 3    | 1    |
| 5       | 2   | 2   | 3     | 0    | 0    | 2    | 3    | 0    |

Le calendrier d'exécution résultant du PERT-temps est:

| N°TACHE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------|---|---|---|---|---|
| DDE     | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |

Le vecteur des ressources disponibles est:  $V=[1,1,2,3,1]$ .

Le calendrier d'exécution obtenu après lissage est:

| N°TACHE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------|---|---|---|---|---|
| DDE     | 0 | 1 | 3 | 4 | 5 |

PROBLEME .4

| N°TACHE | DPT | DPD | DUREE | RES1 | RES2 | RES3 | RES4 | RES5 |
|---------|-----|-----|-------|------|------|------|------|------|
| 1       | 0   | 0   | 2     | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    |
| 2       | 0   | 1   | 3     | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    |
| 3       | 1   | 1   | 1     | 0    | 1    | 0    | 1    | 0    |
| 4       | 1   | 3   | 2     | 1    | 0    | 1    | 0    | 1    |
| 5       | 2   | 2   | 1     | 1    | 1    | 0    | 0    | 1    |
| 6       | 3   | 3   | 3     | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    |

Le calendrier d'exécution résultant du PERT-temps est:

| N°TACHE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------|---|---|---|---|---|---|
| DDB     | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 |

Le vecteur des ressources disponibles est:  $V=[1,1,1,1,1]$ .

Le calendrier d'exécution obtenu après lissage est:

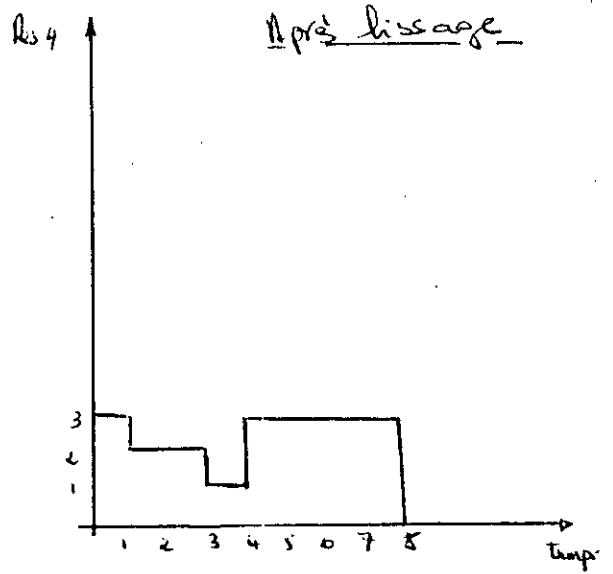
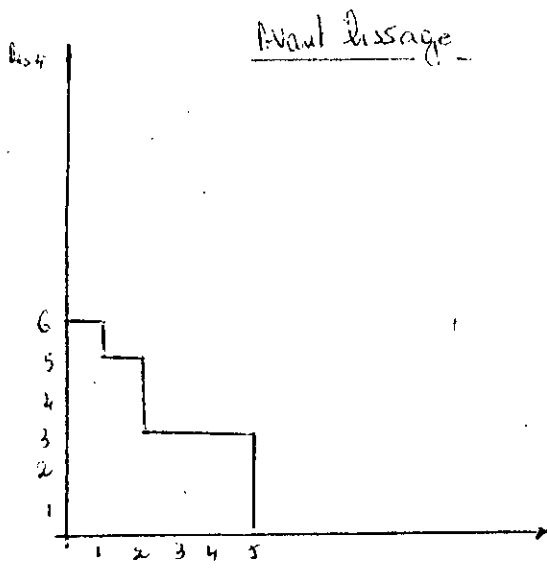
| N°TACHE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------|---|---|---|---|---|---|
| DDB     | 0 | 2 | 2 | 5 | 7 | 8 |



Histogrammes

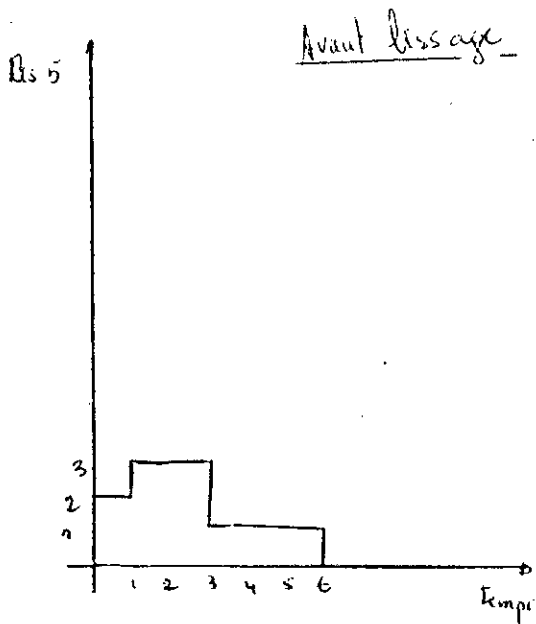
problème 3

Ressource 4

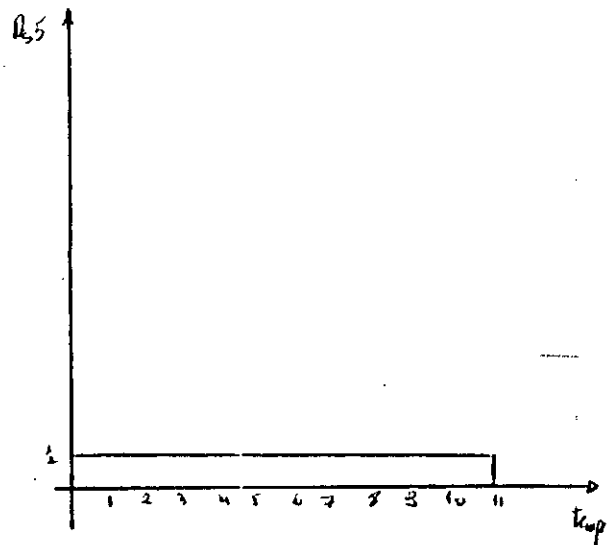


problème 4:

Ressource 5



Après lissage



PROBLEME.5

| N °TACHE | DPT | DPD | DUREE | RES1 | RES2 | RES3 | RES4 | RES5 |
|----------|-----|-----|-------|------|------|------|------|------|
| 1        | 0   | 0   | 1     | 1    | 0    | 2    | 1    | 2    |
| 2        | 1   | 4   | 2     | 0    | 0    | 1    | 1    | 3    |
| 3        | 2   | 2   | 1     | 0    | 0    | 2    | 1    | 1    |
| 4        | 2   | 6   | 3     | 0    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| 5        | 3   | 3   | 2     | 0    | 0    | 0    | 1    | 3    |

Le calendrier d'exécution résultant du PERT-temps est:

| N°TACHE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------|---|---|---|---|---|
| DDB     | 0 | 1 | 2 | 2 | 3 |

Le vecteur des ressources disponibles est:  $V=[1,1,2,1,3]$ .

Le calendrier d'exécution obtenu après lissage est:

| N°TACHE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------|---|---|---|---|---|
| DDB     | 0 | 5 | 2 | 6 | 3 |

Durant l'exécution du programme, la tâche n°2 a été interrompue à la date ; pour commencer la tâche critique n°3 à sa date DPT (après une durée d'exécution d'une unité de temps).

PROBLEME . 6

| N°TACHE | DPT | DPD | DUREE | RES1 | RES2 | RES3 | RES4 | RES5 |
|---------|-----|-----|-------|------|------|------|------|------|
| 1       | 0   | 0   | 2     | 0    | 0    | 2    | 1    | 3    |
| 2       | 0   | 3   | 1     | 1    | 0    | 1    | 1    | 1    |
| 3       | 1   | 1   | 2     | 0    | 0    | 0    | 1    | 2    |
| 4       | 1   | 5   | 3     | 0    | 1    | 2    | 1    | 2    |
| 5       | 2   | 2   | 1     | 0    | 0    | 1    | 1    | 3    |

Le calendrier d'exécution résultant du PERT-temps est:

| N°TACHE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------|---|---|---|---|---|
| DDB     | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |

Le vecteur des ressources disponibles est:  $V=[1,1,2,1,3]$ .

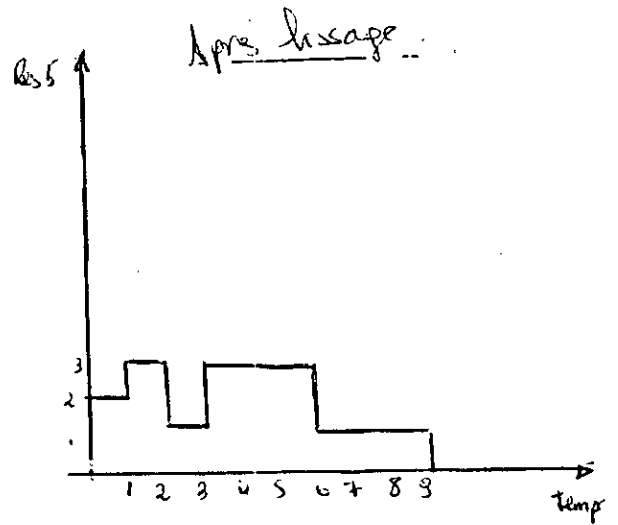
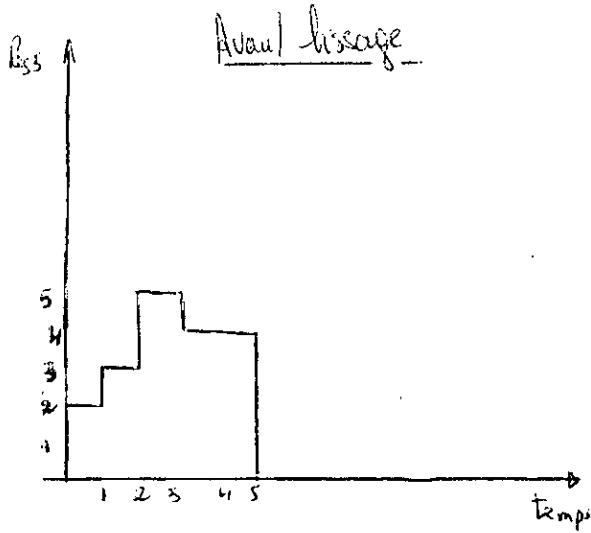
Le calendrier d'exécution obtenu après lissage est:

| N°TACHE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------|---|---|---|---|---|
| DDB     | 0 | 4 | 2 | 5 | 8 |

# Histogrammes

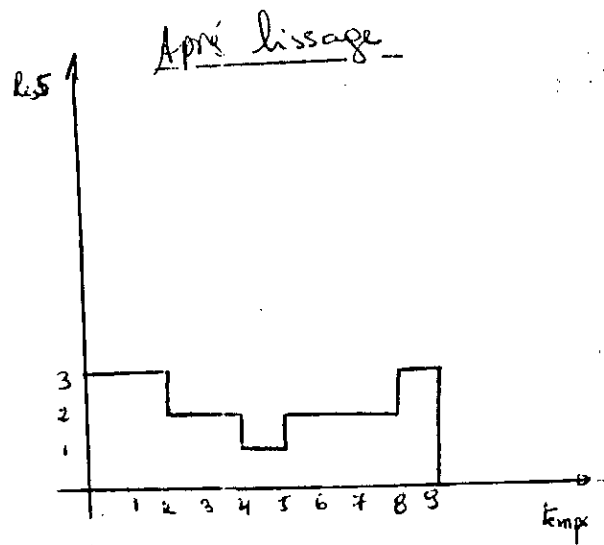
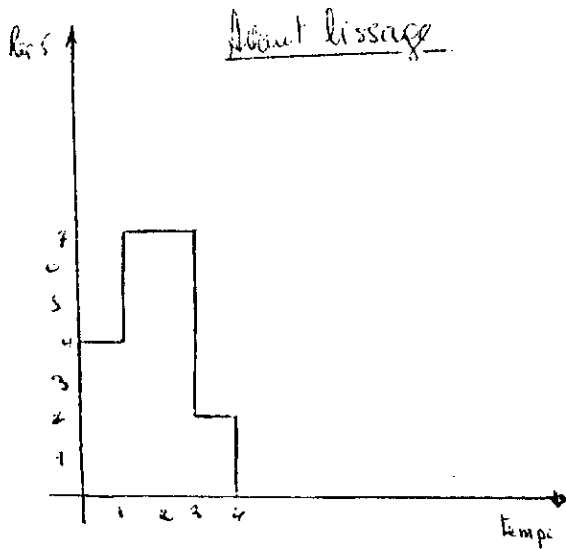
## problème 5

### Ressource 5



## problème 6:

### Ressource 5



PROBLEME. 7

| N°TACHE | DPT | DPD | DUREE | RES1 | RES2 | RES3 | RES4 | RES5 |
|---------|-----|-----|-------|------|------|------|------|------|
| 1       | 0   | 0   | 1     | 2    | 1    | 0    | 1    | 5    |
| 2       | 1   | 1   | 2     | 1    | 1    | 0    | 2    | 7    |
| 3       | 1   | 3   | 3     | 2    | 3    | 0    | 2    | 4    |
| 4       | 2   | 2   | 3     | 1    | 1    | 1    | 1    | 3    |
| 5       | 3   | 5   | 3     | 1    | 2    | 0    | 2    | 4    |
| 6       | 5   | 6   | 1     | 1    | 1    | 0    | 1    | 4    |

Le calendrier d'exécution résultant du PERT-temps est:

| N°TACHE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------|---|---|---|---|---|---|
| DDB     | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 5 |

Le vecteur des ressources disponibles est:  $V=[2,3,1,2,7]$ .

Le calendrier d'exécution obtenu après lissage est:

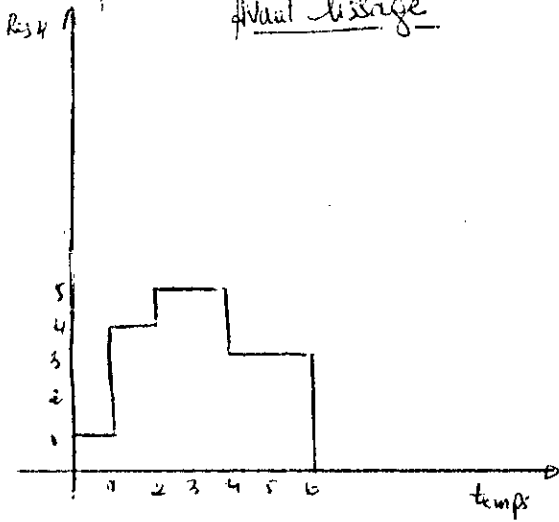
| N°TACHE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------|---|---|---|---|---|---|
| DDB     | 0 | 1 | 3 | 3 | 4 | 7 |

# Histogrammes

## problème 7

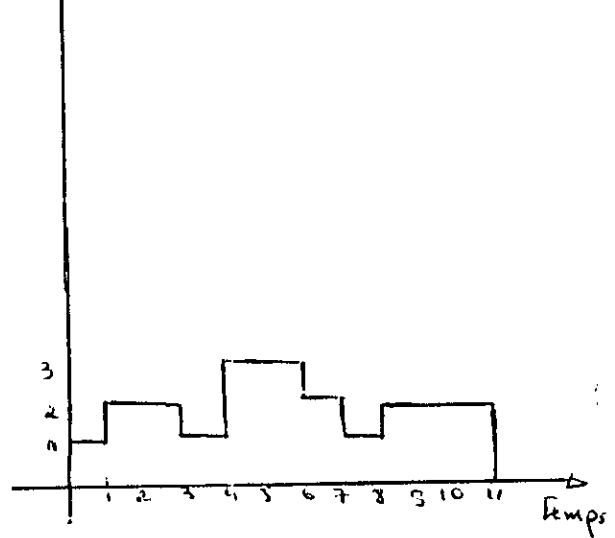
Ressource 4

Avant lissage



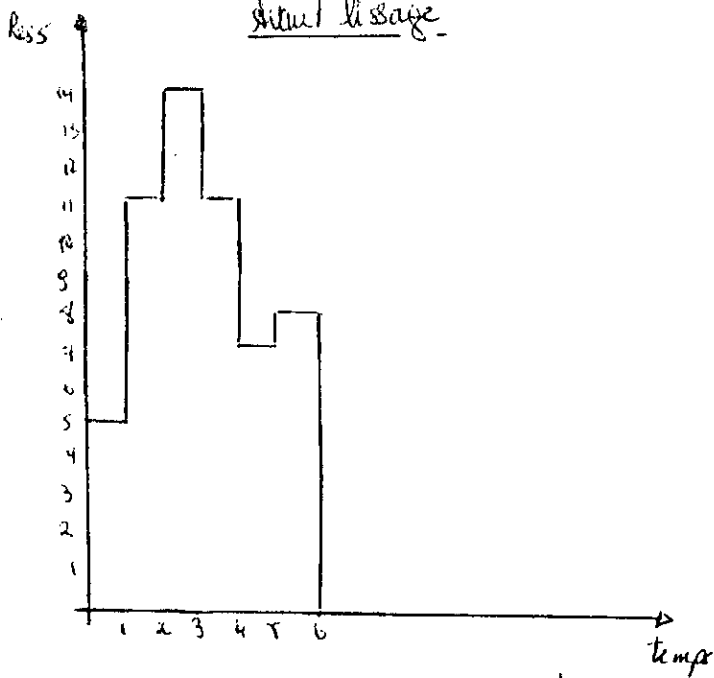
Ress 4

Après lissage



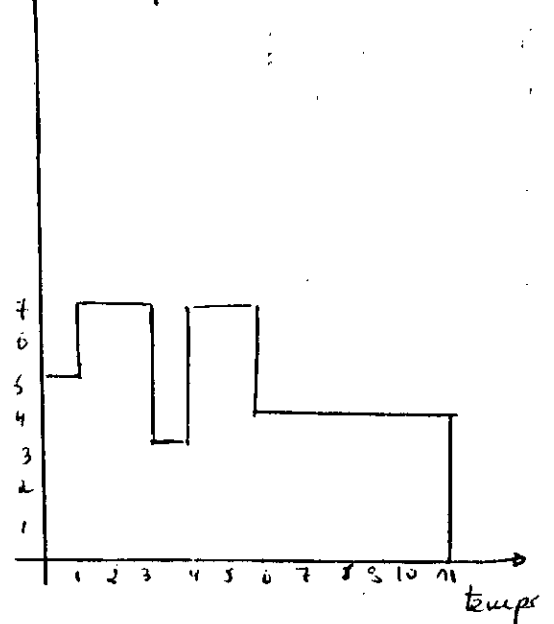
Ressource 5

Avant lissage



Ress 5

Après lissage



DPT: . Date de début au plus tôt;  
DFD: Date de début au plus tard;  
DDB: Date de début prévu;  
RES: Ressource;

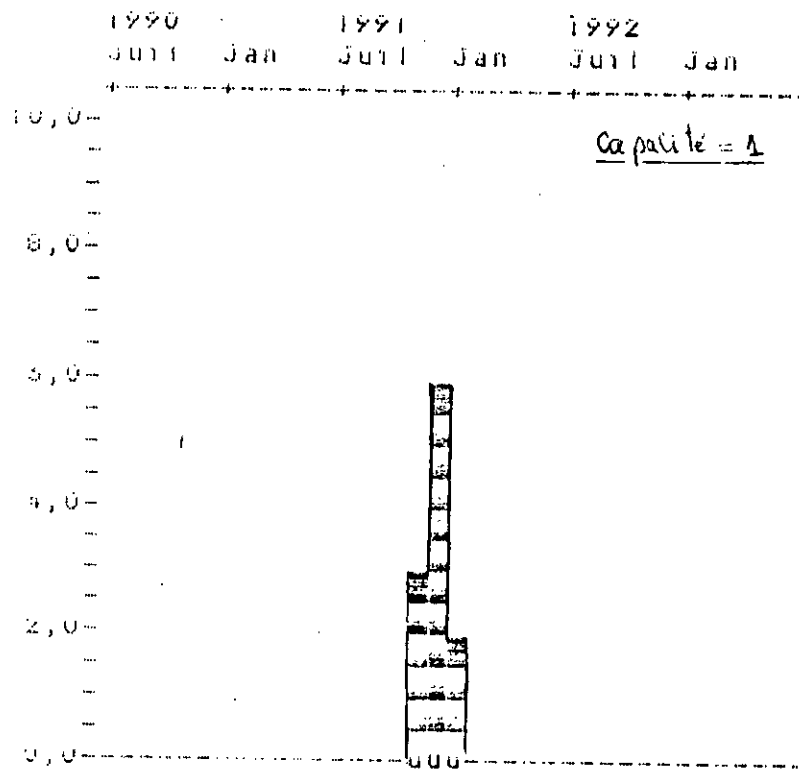
ANNEXE N° 9

RESULTATS DU PERT-TEMPS

HISTOGRAMMES

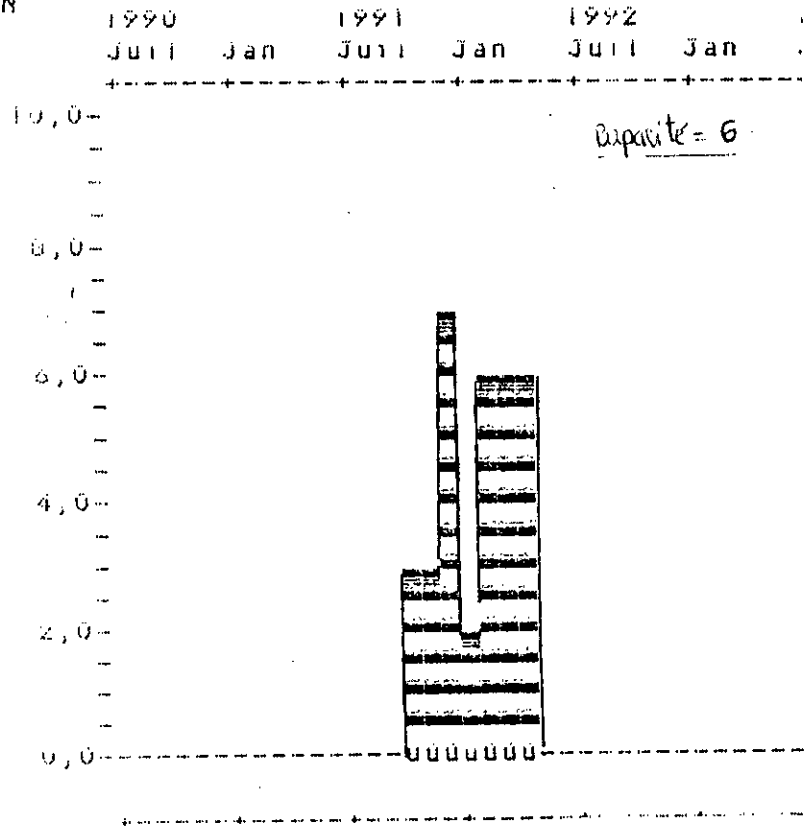
PROJET: FRENDA

RESSOURCE: CRUE

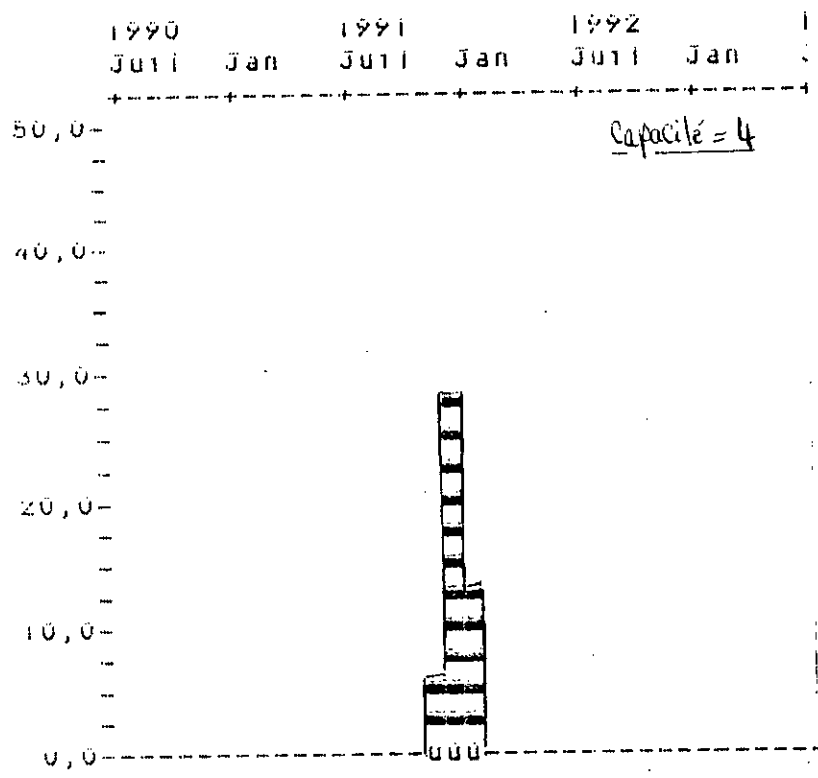




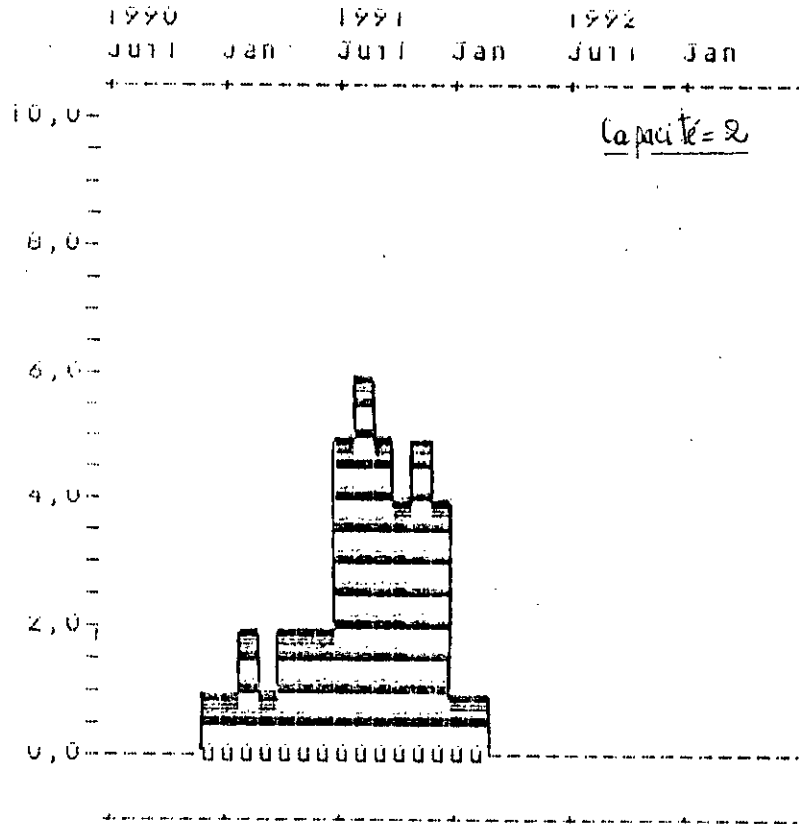
RESSOURCE: ELECTRICIEN



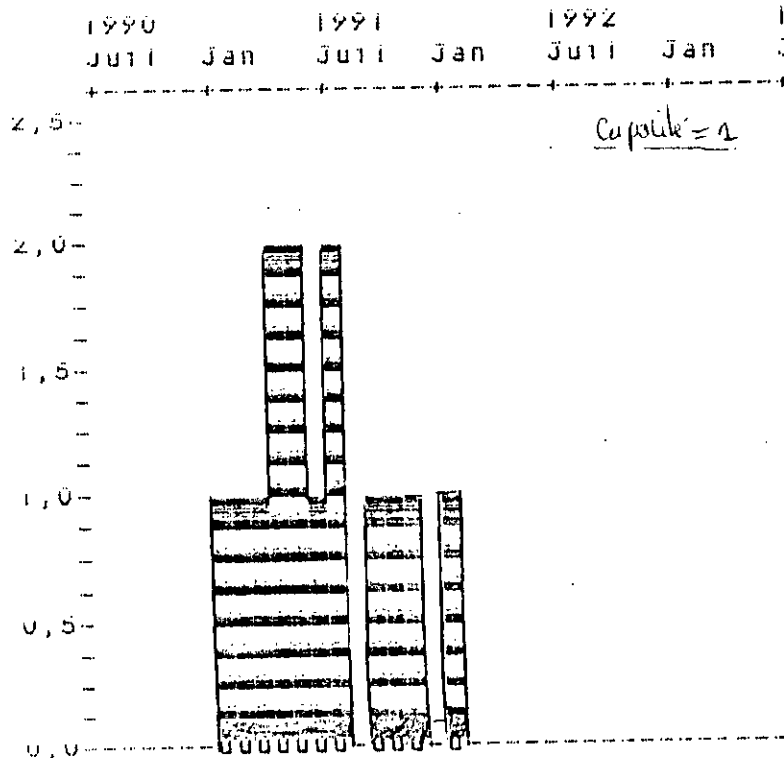
RESSOURCE: MONTEUR



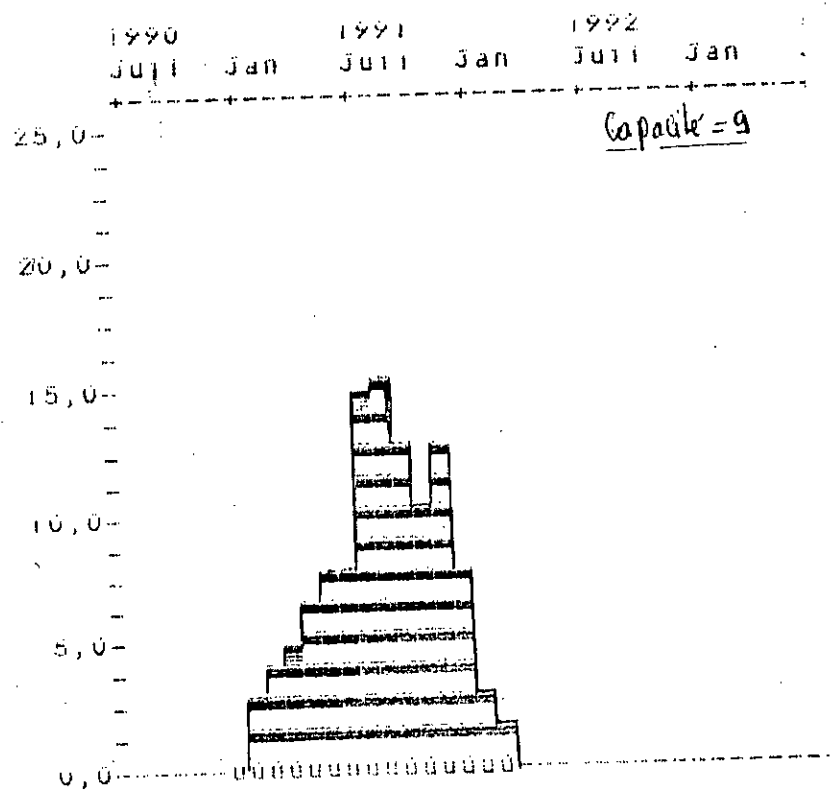
RESSOURCE: BETONNIERE



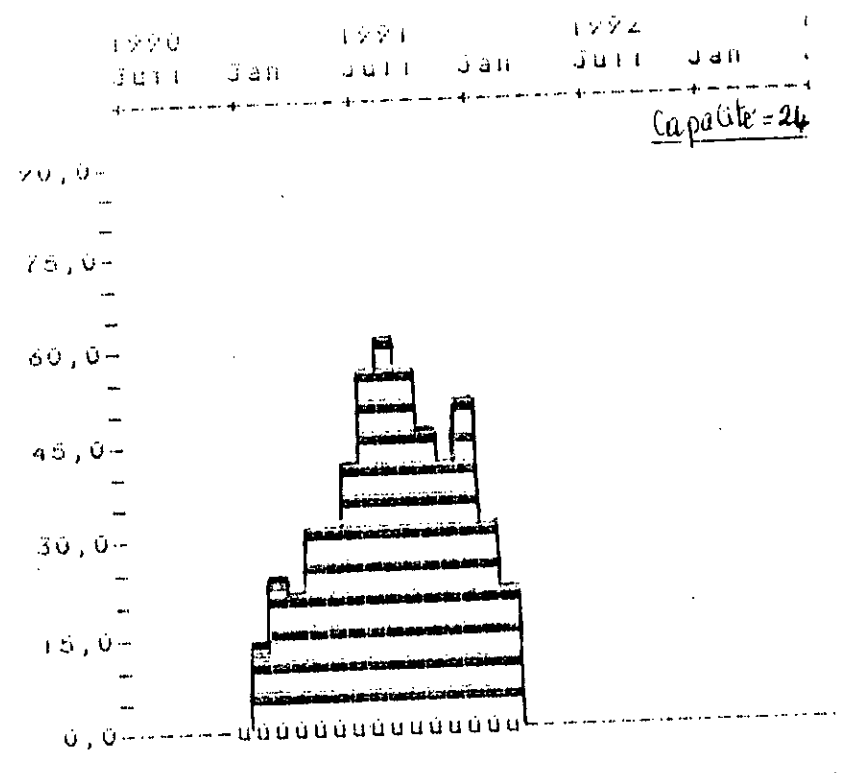
RESSOURCE: PELLE



RESSOURCE: OUVRIER QUALIFI



RESSOURCE: MANOEUVRI



RESULTATS DE L'HEURISTIQUE  
DATES

| N°TACHE | DP[I] | DATE A     | DP1[I] | DATE A     | DUR1[I] |
|---------|-------|------------|--------|------------|---------|
| 1       | 0     | 01/12/1990 |        |            |         |
| 2       | 0     | 01/12/1990 |        |            |         |
| 3       | 312   | 10/02/1992 | 260    | 30/11/1991 | 46      |
|         |       |            | 55     | 16/02/1991 | 62      |
| 4       | 40    | 26/01/1991 |        |            |         |
| 5       | 40    | 26/01/1991 |        |            |         |
| 6       | 60    | 23/02/1991 |        |            |         |
| 7       | 0     | 01/12/1990 |        |            |         |
| 8       | 125   | 25/05/1991 |        |            |         |
| 9       | 65    | 02/03/1991 |        |            |         |
| 10      | 137   | 10/06/1991 |        |            |         |
| 11      | 134   | 05/06/1991 |        |            |         |
| 12      | 147   | 24/06/1991 |        |            |         |
| 13      | 195   | 31/08/1991 |        |            |         |
| 14      | 199   | 04/09/1991 |        |            |         |
| 15      | 193   | 27/08/1991 |        |            |         |
| 16      | 350   | 04/04/1992 |        |            |         |
| 17      | 36    | 20/01/1991 |        |            |         |
| 18      | 267   | 09/12/1991 |        |            |         |
| 19      | 370   | 02/05/1992 |        |            |         |
| 20      | 160   | 13/07/1991 |        |            |         |
| 21      | 195   | 31/08/1991 |        |            |         |
| 22      | 209   | 18/09/1991 |        |            |         |
| 23      | 243   | 05/11/1991 |        |            |         |
| 24      | 350   | 04/04/1992 |        |            |         |

| N°TACHE | DP111 | DATE A     | DP111 | DATE A | DUR111 |
|---------|-------|------------|-------|--------|--------|
| 25      | 258   | 26/11/1991 |       |        |        |
| 26      | 44    | 30/01/1991 |       |        |        |
| 27      | 308   | 04/02/1992 |       |        |        |
| 28      | 321   | 23/02/1992 |       |        |        |
| 29      | 326   | 01/03/1992 |       |        |        |
| 30      | 331   | 08/03/1992 |       |        |        |
| 31      | 201   | 08/09/1991 |       |        |        |
| 32      | 272   | 16/12/1991 |       |        |        |
| 33      | 371   | 03/05/1992 |       |        |        |
| 34      | 350   | 04/04/1992 |       |        |        |
| 35      | 355   | 11/04/1992 |       |        |        |
| 36      | 351   | 05/04/1992 |       |        |        |
| 37      | 257   | 20/11/1991 |       |        |        |
| 38      | 60    | 23/02/1991 |       |        |        |
| 39      | 117   | 13/05/1991 |       |        |        |
| 40      | 64    | 27/02/1991 |       |        |        |
| 41      | 120   | 18/05/1991 |       |        |        |
| 42      | 140   | 15/06/1991 |       |        |        |
| 43      | 200   | 07/09/1991 |       |        |        |
| 44      | 351   | 05/04/1992 |       |        |        |
| 45      | 237   | 28/10/1991 |       |        |        |
| 46      | 139   | 12/06/1991 |       |        |        |
| 47      | 104   | 24/04/1991 |       |        |        |
| 48      | 127   | 27/05/1991 |       |        |        |

| N°TACHE | DP111 | DATE A     | DP111 | DATE A     | DUR111 |
|---------|-------|------------|-------|------------|--------|
| 49      | 153   | 02/07/1991 |       |            |        |
| 50      | 371   | 03/05/1992 |       |            |        |
| 51      | 378   | 12/05/1992 |       |            |        |
| 52      | 241   | 03/11/1991 |       |            |        |
| 53      | 100   | 20/04/1991 |       |            |        |
| 54      | 193   | 27/08/1991 | 145   | 22/06/1991 | 18     |
| 55      | 131   | 02/06/1991 |       |            |        |
| 56      | 164   | 17/07/1991 |       |            |        |
| 57      | 180   | 10/08/1991 |       |            |        |
| 58      | 253   | 19/11/1991 | 220   | 05/10/1991 | 10     |
| 59      | 328   | 03/03/1992 |       |            |        |
| 60      | 143   | 18/06/1991 |       |            |        |
| 61      | 163   | 16/07/1991 |       |            |        |
| 62      | 183   | 13/08/1991 |       |            |        |
| 63      | 351   | 05/04/1992 |       |            |        |
| 64      | 206   | 15/09/1991 |       |            |        |
| 65      | 309   | 05/02/1992 |       |            |        |
| 66      | 213   | 24/09/1991 |       |            |        |
| 67      | 223   | 08/10/1991 |       |            |        |
| 68      | 317   | 17/02/1992 |       |            |        |
| 69      | 384   | 20/05/1992 |       |            |        |
| 70      | 294   | 15/01/1992 |       |            |        |
| 71      | 218   | 01/10/1991 |       |            |        |
| 72      | 230   | 19/10/1991 |       |            |        |

| N°TACHE | DP[II] | DATE A     | DP1[II] | DATE A     | DUR1[II] |
|---------|--------|------------|---------|------------|----------|
| 73      | 213    | 24/09/1991 |         |            |          |
| 74      | 240    | 02/11/1991 |         |            |          |
| 75      | 247    | 11/11/1991 |         |            |          |
| 76      | 283    | 31/12/1991 |         |            |          |
| 77      | 371    | 03/05/1992 |         |            |          |
| 78      | 308    | 04/02/1992 | 230     | 19/10/1991 | 07       |
| 79      | 315    | 15/02/1992 |         |            |          |
| 80      | 337    | 16/03/1992 |         |            |          |
| 81      | 248    | 12/11/1991 |         |            |          |
| 82      | 338    | 17/03/1992 |         |            |          |
| 83      | 386    | 24/05/1992 |         |            |          |
| 84      | 163    | 16/07/1991 |         |            |          |
| 85      | 183    | 13/08/1991 |         |            |          |
| 86      | 177    | 05/08/1991 |         |            |          |
| 87      | 345    | 28/03/1992 |         |            |          |
| 88      | 331    | 08/03/1992 |         |            |          |
| 89      | 394    | 03/06/1992 |         |            |          |
| 90      | 143    | 16/06/1991 |         |            |          |
| 91      | 153    | 02/07/1991 |         |            |          |
| 92      | 404    | 17/06/1992 |         |            |          |
| 93      | 414    | 01/07/1992 |         |            |          |
| 94      | 178    | 06/08/1991 |         |            |          |
| 95      | 240    | 02/11/1991 |         |            |          |

| N°TACHE | DP111 | DATE A     | DP111 | DATE A     | DUR111 |
|---------|-------|------------|-------|------------|--------|
| 96      | 358   | 14/04/1992 |       |            |        |
| 97      | 171   | 28/07/1991 |       |            |        |
| 98      | 391   | 31/05/1992 |       |            |        |
| 99      | 416   | 05/07/1992 |       |            |        |
| 100     | 371   | 03/05/1992 |       |            |        |
| 101     | 313   | 11/02/1992 |       |            |        |
| 102     | 422   | 13/07/1992 |       |            |        |
| 103     | 296   | 19/01/1992 | 270   | 14/12/1991 | 02     |
| 104     | 319   | 19/02/1992 |       |            |        |
| 105     | 318   | 18/02/1992 | 313   | 11/02/1992 | 04     |
| 106     | 424   | 15/07/1992 |       |            |        |
| 107     | 384   | 20/05/1992 |       |            |        |
| 108     | 266   | 08/12/1991 |       |            |        |
| 109     | 256   | 24/11/1991 |       |            |        |
| 110     | 370   | 02/05/1992 |       |            |        |
| 111     | 371   | 03/05/1992 |       |            |        |
| 112     | 298   | 21/01/1992 |       |            |        |
| 113     | 309   | 05/02/1992 |       |            |        |
| 114     | 282   | 30/12/1991 |       |            |        |
| 115     | 319   | 19/02/1992 |       |            |        |
| 116     | 304   | 29/01/1992 |       |            |        |
| 117     | 321   | 23/02/1992 |       |            |        |
| 118     | 331   | 08/03/1992 |       |            |        |
| 119     | 332   | 09/03/1992 |       |            |        |



| N°TACHE | DP[II] | DATE A     | DP1[II] | DATE A     | DUR1[II] |
|---------|--------|------------|---------|------------|----------|
| 120     | 277    | 23/12/1991 |         |            |          |
| 121     | 353    | 07/04/1992 |         |            |          |
| 122     | 386    | 24/05/1992 |         |            |          |
| 123     | 377    | 11/05/1992 |         |            |          |
| 124     | 396    | 07/06/1992 |         |            |          |
| 125     | 309    | 05/02/1992 |         |            |          |
| 126     | 406    | 21/06/1992 |         |            |          |
| 127     | 406    | 21/06/1992 |         |            |          |
| 128     | 384    | 20/05/1992 |         |            |          |
| 129     | 366    | 26/04/1992 | 309     | 05/02/1992 | 05       |
| 130     | 267    | 09/12/1991 |         |            |          |
| 131     | 312    | 10/02/1992 | 307     | 03/02/1992 | 02       |
| 132     | 306    | 02/02/1992 |         |            |          |
| 133     | 270    | 14/12/1991 |         |            |          |
| 134     | 297    | 20/01/1992 |         |            |          |
| 135     | 314    | 12/02/1992 |         |            |          |
| 136     | 355    | 11/04/1992 |         |            |          |

ANNEXE N° 11

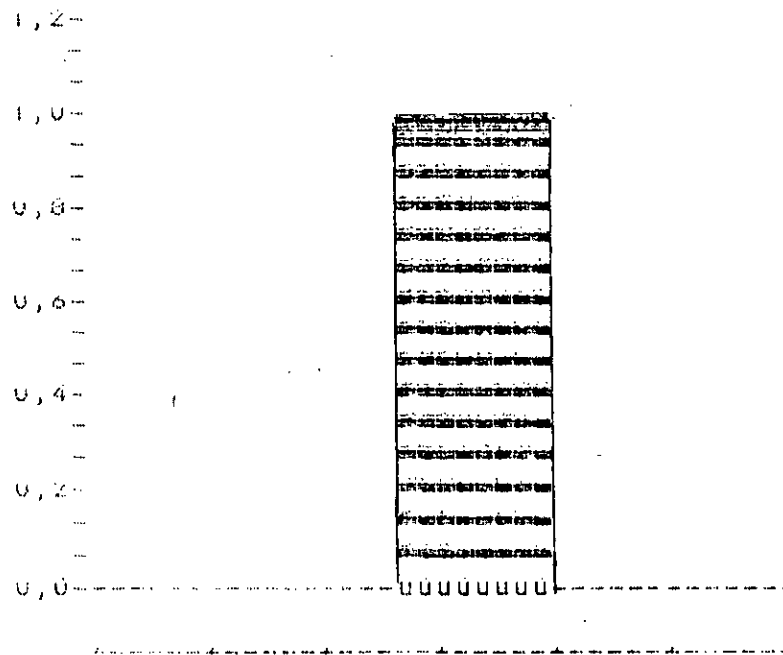
RESULTATS DE L'HEURISTIQUE

HISTOGRAMMES LISSES

Projet: FRENDA

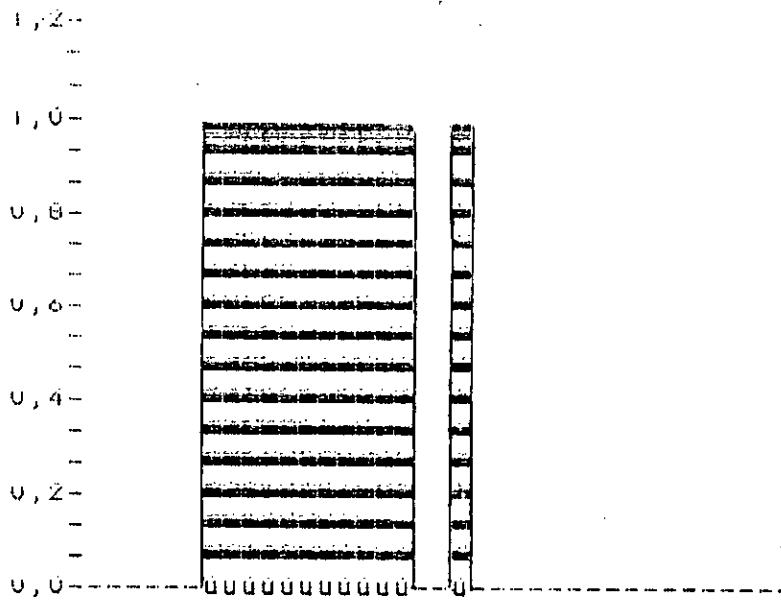
RESSOURCE: GRUE

| 1990 | 1991 | 1992 |     |
|------|------|------|-----|
| JU11 | JAN  | JU11 | JAN |



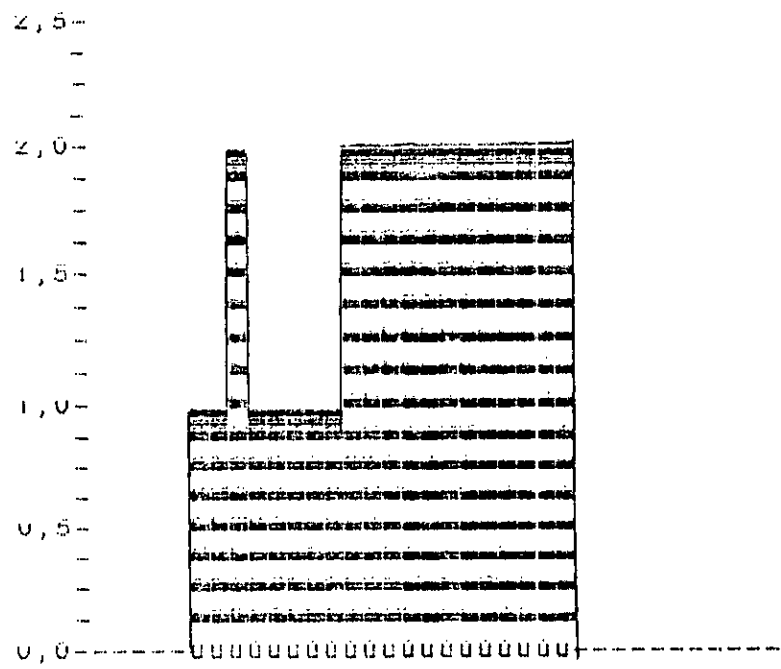
RESSOURCE: PELLE

| 1990 | 1991 | 1992 |     |      |     |
|------|------|------|-----|------|-----|
| Juli | Jan  | Juli | Jan | Juli | Jan |

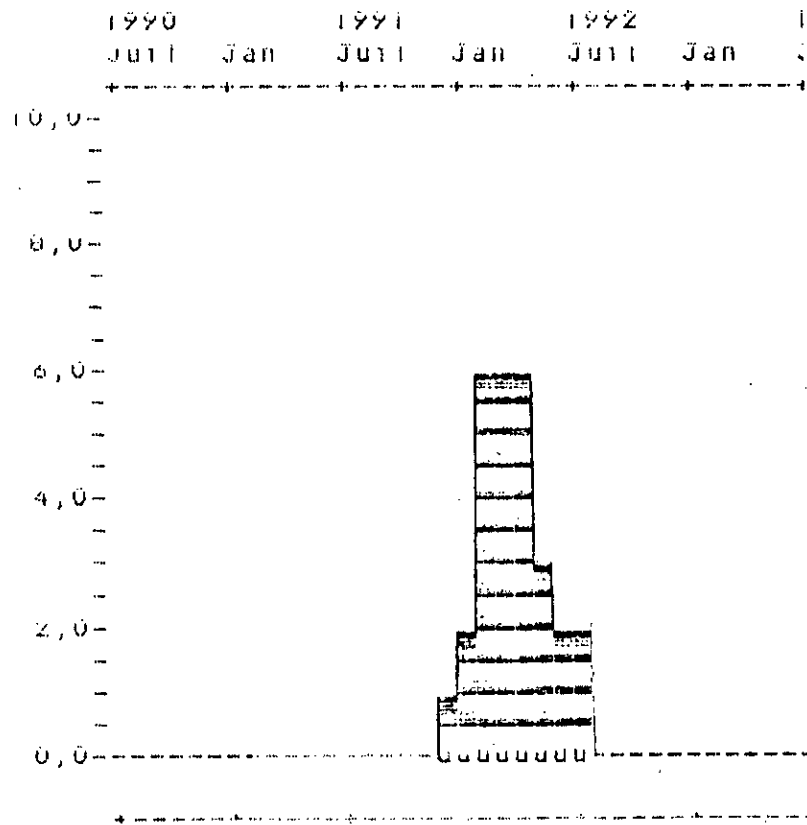


RESSOURCE: BETONNIERE

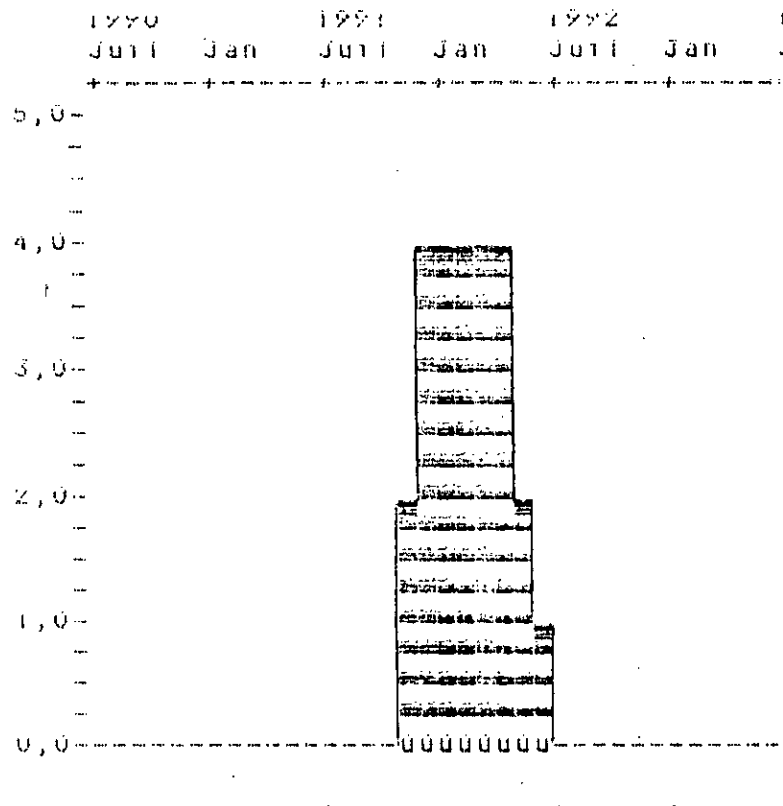
| 1990 | 1991 | 1992 |     |      |     |
|------|------|------|-----|------|-----|
| Juli | Jan  | Juli | Jan | Juli | Jan |



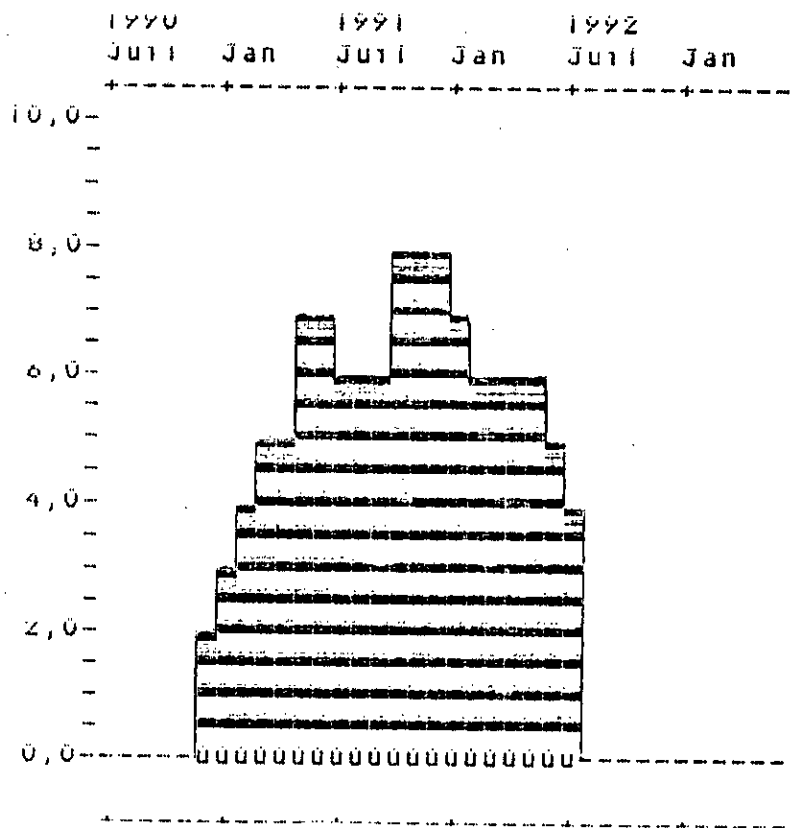
RESSOURCE: ELECTRICIEN



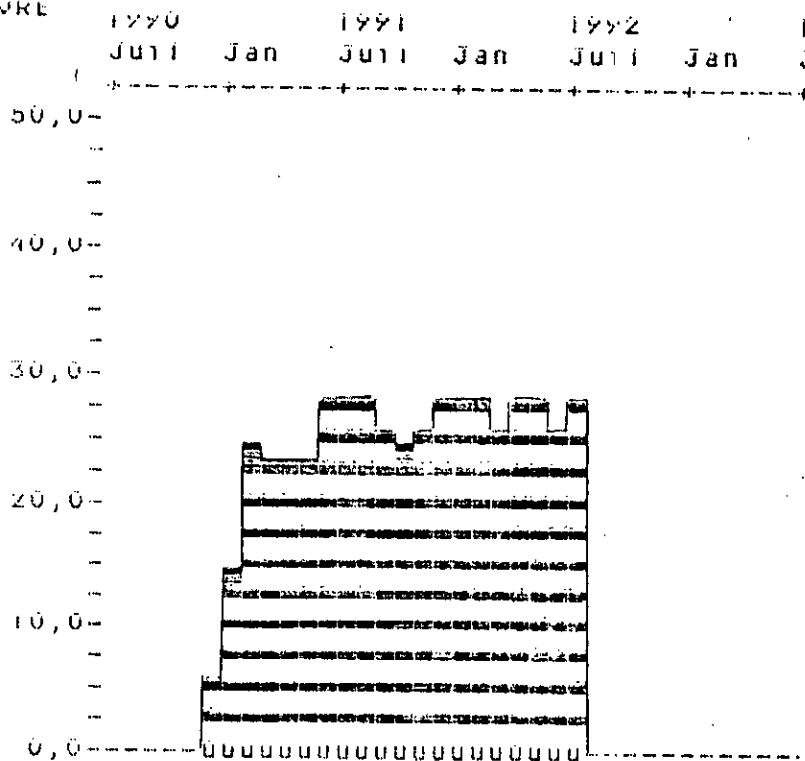
RESSOURCE: MONTEUR



Ressource: OUVRIER QUALIFI



RESSOURCE: MANOEUVRE



## ANNEXE N° 12

### Estimation des durées de tâches

En pratique, de très nombreux projets, principalement ceux de recherche et développement, ont des tâches dont les durées sont mal connues et par suite incertaines.

Deux cas peuvent se présenter; Ou bien les tâches ne sont pas entièrement nouvelles et nous pouvons définir pour chacune d'elles une loi de répartition de probabilités du temps opératoire, ou bien elles sont entièrement nouvelles, ou tout au moins très mal connues. Il peut en être ainsi dans un projet de recherche, alors que le premier cas correspond assez bien aux projets de développement industriel.

Dans le premier cas, il n'y a aucune difficulté pour déterminer la durée moyenne et la variance de chaque tâche. On obtient ainsi les valeurs estimées de la durée et sa variance. Lorsqu'on ignore tout de la distribution, le seul critère pour établir un modèle utilisable reste la facilité des calculs.

C'est pour cette raison que la méthode PERT a choisi de supposer les temps opératoires distribués suivant des lois  $\beta$ .

$$F(d) = \frac{(\alpha - a_i)^{\alpha} (b_i - d)^{\gamma}}{(b_i - a_i)^{\alpha + \gamma + 1} B(\alpha + 1, \gamma + 1)}$$

avec  $\alpha = 2 + \sqrt{2}$

$a_i$  : Durée optimiste

$m_i$  : Durée plus probable

$\gamma = 2 - \sqrt{2}$

$b_i$  : Durée pessimiste

Soit  $\sigma_i^2 = \frac{(b_i - a_i)^2}{36}$  La variance de la durée de la tâche i,

La variance  $\sigma^2$  caractérise la dispersion des évaluations; plus grande est la variance, plus grande est l'incertitude. A partir des durées moyennes de chaque tâche, on peut alors déterminer la probabilité de voir la fin du projet se réaliser dans un temps donné. En utilisant le théorème central limite qui annonce que si  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  sont des variables aléatoires indépendantes, de variances  $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2, \dots, \sigma_n^2$ , alors la variable:

$$Y_n = \frac{\sum X_i - E(\sum X_i)}{\sigma(\sum X_i)}, \text{ suit à la limite une loi normale.}$$

Ainsi la durée d'exécution du projet qui est la somme des durées des tâches critiques dont chacune (durée) suit une loi de distribution  $\beta$  de moyenne  $D_i$ , et de variance  $\sigma_i^2$ , est distribuée suivant une normale, de moyenne  $\sum D_i$  et de variance  $\sum \sigma_i^2$ .

Soit D la durée d'exécution du projet alors:

$$D \longrightarrow N(T, \sigma^2), \quad T = \sum D_i$$

$$\sigma^2 = \sum \sigma_i^2$$

et

$$Z = \frac{D - T}{\sqrt{\sigma^2}} \longrightarrow N(0, 1)$$

Donc la probabilité d'achever les travaux du projet au plus tard à la date L donnée est:

$$P(D < L) = P\left(\frac{D - T}{\sigma} < \frac{L - T}{\sigma}\right) = P\left(Z < \frac{L - T}{\sigma}\right)$$

Les valeurs des probabilités seront lues sur la table de GAUSS.



ANNEXE N° 13

LES MOYENS UTILISES POUR UN POSTE SIMPLIFIE

1- MOYENS PERSONNELS:

Un responsable de chantier  
Un assistant  
Un chef d'équipe  
Des chauffeurs  
Des conducteurs d'engins  
Des ouvriers qualifiés  
Des manoeuvres  
Des monteurs  
Des électriciens

2- MOYENS MATERIELS:

Deux bétonnières  
Un basculeur (dumper)  
Un chargeur (trax)  
Un compresseur  
Un tracteur  
Trois citernes  
Un véhicule de liaison  
Deux camions  
Un clark  
Une grue  
Un compacteur  
Une niveleuse  
Un bull  
Une pelle hydraulique

## Approche ergonomique

L'ergonomie a été définie en 1961 par la Revue Internationale du Travail (RIT) comme l'application conjointe de certaines sciences biologiques et des sciences de l'ingénieur pour assurer, entre l'homme et le travail, l'optimum d'adaptation mutuelle, afin d'accroître le rendement du travailleur et contribuer à son bien-être.

Ainsi, le poste de travail est vu comme un système complexe à plusieurs fonctions ou, ni les fonctions ni les constituants ni les règles sont complètement définis. Par conséquent, les *inadaptations personne-travail* constituent des facteurs susceptibles de forcer les opérateurs à restructurer le système. Une fois la phase d'adaptation terminée, le rôle de l'opérateur en est un essentiellement de régulation. Le système a alors atteint une certaine stabilité (régime permanent).

Occasionnellement, le système pourra être perturbé, donnant lieu ainsi à divers types de défaillances dont les accidents et les biens et services défectueux.

Même si le système finit par atteindre une certaine stabilité, l'opérateur n'arrive jamais à connaître toutes les variables et toutes les règles du système qui régissent ces dernières, de telle sorte qu'une certaine quantité d'incertitude demeure.