



HAL
open science

Vers un logiciel d'ordonnancement pour bâtiment à l'usage des PME et PMI

Abdeslem Boutemine

► **To cite this version:**

Abdeslem Boutemine. Vers un logiciel d'ordonnancement pour bâtiment à l'usage des PME et PMI. Génie logiciel [cs.SE]. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1984. Français. NNT : . tel-00529409

HAL Id: tel-00529409

<https://pastel.hal.science/tel-00529409>

Submitted on 25 Oct 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE présentée à

L'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES

pour obtenir le titre

de

**DOCTEUR – INGENIEUR
EN SCIENCES ET TECHNIQUES
DU
BATIMENT**

par ABDESLEM BOUTEMINE

sur le sujet: _____

"Vers un logiciel d'ordonnement pour
bâtiment à l'usage des PME et PMI."

soutenue le : 28 Septembre 1984

à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

devant un jury composé de M. J.C. MANGIN **Président**

M. H. LABORDERE

M. C. PINGEON

M. A. BENOIT

2493

NS 12396(2)
NS 12396(2) 

Remerciements

Qu'il me soit permis de remercier particulièrement

Monsieur J.C. MANGIN, Professeur à l'Université de Chambéry, à l'INSA de Lyon qui m'a honoré de présider le jury. Qu'il soit remercié également pour les orientations et l'aide qu'il m'a données; elles ont été fondamentales pour la concrétisation de cette thèse,

Monsieur C. PINGEON, Professeur à l'E.N.P.C., Directeur du Centre d'Enseignement et de Recherche en Informatique Appliquée, Directeur de cette thèse, pour les facilités qu'il m'a accordées pour sa préparation,

Monsieur A. HENRY-LABORDERE, Professeur à l'E.N.P.C., pour son aide précieuse et sa disponibilité à mon égard à chaque fois que je me suis adressé à lui,

Monsieur A. BENOIT, Directeur Général du Cabinet BENOIT, qui a bien voulu faire partie du jury.

Monsieur CHABERT, Ingénieur du Corps des Ponts et Chaussées, du Ministère de la Construction, pour sa collaboration,

Monsieur LAMBERT, Chef du service Méthodes à NORD FRANCE et ses collaborateurs pour l'accueil qu'ils m'ont réservé durant la période que j'ai passée dans cette entreprise.

Monsieur O.J. DERIAT, Maître Assistant à l'E.N.P.C., pour son aide amicale et sa compréhension qu'il n'a cessé de manifester tout au long de ce travail,

Madame J. NEGI, pour la qualité de son travail de traitement de texte et le sacrifice de ses loisirs qu'elle a consenti pour que ce travail soit fait dans les délais,

Messieurs LANGLOIS et BOUDOULEC du service Exploitation du Centre de Calcul pour leur collaboration amicale,

Il ne m'est pas possible de citer toutes les personnes qui m'ont aidé à des degrés divers; qu'elles trouvent ici l'expression de ma gratitude

32



T A B L E D E S M A T I E R E S

INTRODUCTION	p. 2
<u>Partie A : Bilan des méthodes d'ordonnement existantes</u>	
CHAPITRE I : Rappel sur la théorie des graphes	p. 5
CHAPITRE II : Généralités sur les ordonnancements	p. 8
1. Définition	p. 8
2. Classification des problèmes d'ordonnement	p. 9
2.1 Typologie de contraintes	p. 9
2.2 Formulation de contraintes	p. 10
2.3 Sous-classes de problèmes d'ordonnement de type (T)	p. 12
CHAPITRE III : Problème central d'ordonnement	p. 13
3.1 Représentation par un graphe potentiels-étapes	p. 13
3.2 Représentation par un graphe potentiels-tâches	p. 14
3.3 Application des méthodes à chemins critiques	p. 17
3.3.1 Quelques résultats	p. 17
3.3.2 Résolution du problème central d'ordonnement	p. 18
3.3.2b Notion de marges	p. 20
3.3.3 Importance du concept de marge	p. 21
3.3.4 Passage des potentiels aux dates usuelles	p. 21
3.4 Graphiques	p. 23
1. Graphique GANTT	p. 23
2. Réseau logique	p. 24

CHAPITRE IV : Les problèmes cumulatifs	p. 27
1. Définition	p. 28
2. Types de problèmes cumulatifs dans le domaine du bâtiment	p. 29
2.1 Optimisation des ressources dans un délai donné	p. 29
2.2 Optimisation du délai avec des ressources données	p. 29
2.3 Exemple d'illustration des problèmes de lissage et de nivellement	p. 29
3. Nivellement	p. 32
3.1 Modélisation des contraintes de cumul de moyens	p. 32
3.2 Les méthodes heuristiques	p. 32
3.2.1 Les méthodes chronologiques	p. 33
3.2.2 Les méthodes non chronologiques	p. 36
3.3 Les méthodes arborescentes	p. 37
3.4 Autres méthodes	p. 37
4. Lissage	p. 39
4.1 Critère d'évaluation de lissage	p. 39
4.2 Exemples de méthodes heuristiques de lissage	p. 40
4.3 Méthode de MOLOS	p. 40
4.3.1 Principe	p. 40
4.3.2 Analyse et critique de cette méthode	p. 41
4.3.3 Notion de créneaux	p. 41
4.3.4 Recherche de créneaux	p. 42
4.3.5 Algorithme de Dostani	p. 42
4.3.6 Méthode MOLOS modifiée	p. 44
5. Problème de lissage et de nivellement	p. 46
6. Problèmes d'atelier	p. 47
CHAPITRE V : Problème d'optimisation économique	p. 48
1. Coût d'une tâche en fonction de sa durée	p. 48
2. Réduction du coût total et accélération de la durée d'un projet	p. 52
2.1 Diminution du coût total d'un projet	p. 52
2.2 Accélération au moindre coût de la réalisation d'un projet ..	p. 52
Calcul du flot optimal dans un réseau antisymétrique par la méthode de J. SIMION	p. 56
1. Introduction	p. 56
2. La procédure	p. 56

Partie 3 : Vers un logiciel à l'usage des PME

CHAPITRE VI : Enquête auprès des entreprises : Mise en évidence des pratiques et des besoins	p. 60
1. Nécessité de prendre connaissance des objectifs et des pratiques d'ordonnement dans les entreprises	p. 60
2. Enquête auprès des entreprises	p. 60
2.1 Présentation du questionnaire	p. 60
2.2 Résultats des enquêtes	p. 62
CHAPITRE VII : Intégration des contraintes après analyse	p. 78
1. Analyse des contraintes	p. 78
1.1 Difficultés de prendre en compte tous les paramètres	p. 78
1.2 Attitudes face à la réalisation d'un projet	p. 78
1.3 Tâches élémentaires et décomposition d'un projet	p. 78
1.4 Durée des tâches	p. 80
1.5 Détermination et contrôle des ressources	p. 80
1.5.1 Détermination	p. 80
1.5.2 Contrôle	p. 81
1.6 Paiements mensuels	p. 84
1.7 Recalage et suivi de chantier	p. 84
1.7.1 Suivi de chantier	p. 84
1.7.2 Recalage	p. 85
1.8 Codification et libellés des tâches	p. 86
1.9 Sorties graphiques	p. 87
1.9.1 Diagramme GANTT	p. 87
1.9.1.1 Prise en considération de la notion de lieux	p. 87
1.9.1.2 Représentation de la notion de lieux	p. 87
1.9.1.3 Représentation à retenir	p. 89
1.9.2 Courbes de charges	p. 91
1.9.2.1 Affectation avec réemploi	p. 91
1.9.2.2 Affectation sans réemploi	p. 91
1.9.3 Graphe logique	p. 93
2. Conclusion	p. 93

CHAPITRE VIII : Présentation du logiciel	p. 93
1. Principe d'analyse du système	p. 93
2. Mise en place du scénario	p. 94
2.1 Début du scénario	p. 94
2.2 Fonctionnement du scénario	p. 95
2.2.1 Définition et organisation des données élémentaires	p. 95
2.2.2 "Guidage" dans la réalisation des traitements élémentaires	p. 96
2.3 Sélection et description des actions	p. 96
2.3.1 Modularité des actions	p. 96
2.3.2 Sélection des actions	p. 96
2.3.3 Description des actions	p. 97
2.3.4 Récapitulatif	p. 112
2.3.5 Exploitation	p. 113
Conclusion	p. 114

BIBLIOGRAPHIE

- ANNEXE 1 Incertitude sur la durée d'une tâche
- ANNEXE 2 Rappels sur les procédures par séparation et évaluation
- ANNEXE 3 Comparaison des critères de choix de l'étude de David PATTERSON
- ANNEXE 4 Problèmes d'atelier

I N T R O D U C T I O N

INTRODUCTION

En bâtiment, peut-être plus qu'en tout autre domaine, l'acte de construire est complexe. Il n'est pas dans notre propos de faire une analyse détaillée des facteurs qui entrent en jeu dans ce domaine : mode de fonctionnement, de financement, de décision, etc.... Parmi les facteurs spécifiques au bâtiment, on peut citer :

a) les intervenants et leurs relations

Le nombre d'intervenants est important et surtout diversifié (promoteur, maître d'ouvrage, maître d'oeuvre, entrepreneurs, etc...).

b) les méthodes de travail

Les méthodes de travail varient selon les intervenants : entreprises de gros oeuvre, entreprises de corps d'état secondaire, administrateur.

c) les rémunérations et les contrôles

Les estimations des uns peuvent être faussées pour les autres : le menuisier qui ne peut poser ses cadres parce que l'entreprise G.O. n'a pas encore réalisé les cloisons,.....

L'ensemble de ces facteurs montre l'ampleur de coordination, de prévision et de décision pour tous les intervenants.

Par ailleurs, dans une situation économique en crise, où la construction marque le pas, il devient de plus en plus difficile pour les entreprises de remporter des marchés, avec des prix calculés au plus juste. Ces dernières doivent être en mesure d'établir et contrôler des prévisions toujours plus rigoureuses (délais, budget, coûts, etc...) sous peine de se voir confronter à de graves difficultés financières ou d'organisation.

Les ordonnancements constituent alors l'outil approprié. C'est en effet le souci d'une planification et d'une organisation plus efficaces qui a conduit à leur invention, voilà à peine deux décennies et demie.

L'ampleur de la recherche dans le domaine de l'ordonnement a été considérable. La recherche opérationnelle a été l'outil fondamental utilisé pour ce développement.

La méthode PERT, issue de cette famille d'ordonnements, a vu son application s'étendre à tous les niveaux : industrie, BTP, administration, etc.... Son objectif s'est également élargi. Le développement de l'informatique a permis de mettre en place des programmes fondés sur cette méthode et de traiter des projets de plus en plus compliqués (comprenant des milliers de tâches). Mais, jusqu'à un passé récent, seules de puissantes sociétés pouvaient acquérir et gérer de tels moyens informatiques (matériel, logiciel).

INTRODUCTION

L'apparition sur le marché de micro-ordinateurs performants et de terminaux graphiques dont les coûts sont tout à fait à la portée des petites et moyennes entreprises offre de réelles possibilités à celles-ci d'accéder à l'informatique pour la gestion de leurs projets. Or, sur presque 250 000 entreprises de BTP existant en France, environ 200 000 sont des PME.

Pour qu'une entreprise investisse dans le domaine de l'informatique, comme dans tout autre domaine, elle doit être assurée que les services qui lui sont proposés sont adaptés à ses besoins, souples d'utilisation et finalement rentables. On se rend compte que ces besoins peuvent varier d'une entreprise à l'autre, même parmi les PME. Ecrire un programme répondant aux besoins des différents utilisateurs devient une tâche difficile, compte tenu de la variété de ces besoins : un premier est particulièrement intéressé par le problème de lissage de charge, alors qu'un autre est surtout intéressé par certaines sorties graphiques, etc....

Vouloir intégrer toutes ces possibilités risquerait de conduire à la mise en place d'un programme démesuré qui demanderait une capacité mémoire très importante. Il fallait alors déterminer le problème d'ordonnement le plus représentatif pour ces entreprises, grâce notamment aux discussions que nous avons eues avec des responsables d'entreprises.

De nombreux programmes d'ordonnement existent en France : E. MAUREL, D. ROUX, D. DUPONT (3) en ont recensé 28, certains ayant plus de possibilités que d'autres. Mais, depuis une dizaine d'années, les chercheurs se sont penchés sur la complexité de calcul et de nombreux algorithmes plus performants sont apparus; leur utilisation dans des programmes d'ordonnement serait donc avantageuse.

D'autre part, nous avons voulu étudier les contraintes à prendre en compte en vue de parvenir à la conception d'un logiciel qui soit considéré comme un outil de gestion; des problèmes tels que l'actualisation des projets, les paiements mensuels ou les contrôles d'utilisation de ressources seront abordés.

INTRODUCTION

L'objectif de ce travail est de dégager un ensemble d'éléments qui puissent servir de base à la mise en place d'un logiciel d'ordonnancement dont les actions permettent de prendre en compte les besoins d'un certain nombre d'entreprises qui seraient surtout des PME.

Notre travail comporte deux parties :

- Dans la première partie, nous présenterons un bilan d'ordonnements disponibles.

Dans les premier et deuxième chapitre, nous présenterons respectivement des rappels sur la théorie des graphes et des généralités sur les ordonnancements.

Dans le troisième chapitre, nous présenterons le problème central d'ordonnement, étape fondamentale dans toutes les familles d'ordonnement.

Dans le quatrième chapitre, nous étudierons les problèmes cumulatifs qui se posent dès lors que l'on s'intéresse aux moyens de réalisation.

Dans le cinquième chapitre, nous nous intéresserons à certaines méthodes d'optimisation économique des projets.

- La deuxième partie sera dirigée vers la construction du cadre d'un logiciel à l'usage des PME.

Dans le sixième chapitre, nous présenterons nos enquêtes auprès des entreprises pour la mise en évidence des pratiques et des besoins en ordonnancements.

Dans le septième chapitre, nous ferons l'intégration des contraintes après analyse.

Dans le huitième chapitre, nous présenterons le logiciel.

P A R T I E A

Bilan des méthodes d'ordonnement existantes

C H A P I T R E I

RAPPEL SUR LA THEORIE DES GRAPHS

RAPPELS SUR LA THEORIE DES GRAPHES

Nous allons rappeler brièvement dans ce chapitre les définitions dont nous ferons usage. Le lecteur pourra, pour de plus amples explications, consulter les ouvrages de M. HENRY-LABORDERE (35A) et de GONDRAN et MINOUI (2).

Définition 1.1 :

Un graphe $G = (X,U)$ est déterminé par la donnée :

- d'un ensemble X dont les éléments sont appelés sommets ou noeuds.
Si $N = |X|$ est le nombre de sommets, on dit que le graphe G est d'ordre N .
- d'un ensemble U dont les éléments $u \in U$ sont des couples de sommets appelés arcs. Si $u = (i,j)$ est un arc de G , i est l'extrémité initiale de u et j l'extrémité terminale de u .

Le graphe, tel que défini ci-dessus est en fait un graphe orienté : un arc (u,j) est tout à fait différent d'un arc N de la forme (j,i) .

Il existe cependant une notion de graphe non orienté où U est un ensemble de paires de sommets qui sont appelés arêtes.

Dans ce qui suit, nous conviendrons d'appeler graphes les graphes orientés.

Définitions 1.2 :

Soit $G : (X,U)$ un graphe et soit u un arc de la forme (i,j) où i et j sont deux sommets éléments de U

- . i est alors un prédécesseur de j , de même,
- . j est un successeur de i .

L'ensemble des successeurs d'un sommet $i \in X$ est noté : $\Gamma^+ i$. L'application Γ^+ qui à tout élément de X fait correspondre une partie de X (un élément de $P(X)$) est appelée une application multivoque.

L'ensemble des prédécesseurs de $i \in X$ sera noté $\Gamma^- i$, où Γ^- est l'application (multivoque) réciproque de Γ^+ .

Un arc de la forme (i,i) est une boucle.

RAPPELS SUR LA THEORIE DES GRAPHES

Définition 1.3 :

Un 1-graphe est un graphe dans lequel il n'existe jamais plus d'un arc de la forme (i,j) entre deux sommets quelconques i et j pris dans cet ordre.

Un graphe G est dit symétrique si, pour toute paire de sommets (i,j) , il existe autant d'arcs de la forme (i,j) que de la forme (j,i) .

un 1-graphe $G = (X,U)$ est dit antisymétrique si $(i,j) \in U \implies (j,i) \notin U$

Un 1-graphe $G = (X,U)$ est complet si et seulement si $(i,j) \notin U \implies (j,i) \in U$

Définition 1.4 :

Une chaîne de longueur q (de cardinalité q) est une séquence de q arcs :

$$L = \left\{ u_1, u_2, \dots, u_q \right\}$$

telle que chaque arc u_r de la séquence ($2 \leq r \leq q-1$) ait une extrémité commune avec l'arc u_{r-1} ($u_{r-1} \neq u_r$) et l'autre extrémité commune avec l'arc u_{r+1} ($u_{r+1} \neq u_r$).

L'extrémité i de u_1 non adjacente à u_{q-1} et l'extrémité j de u_q non adjacente à u_{q-1} sont appelées les extrémités de la chaîne L . On dit aussi que la chaîne joint les sommets i et j .

Ainsi sur le graphe de la figure 1.1, $L = \{u_2, u_5, u_6, u_4\}$ est une chaîne allant du sommet 2 au sommet 3.

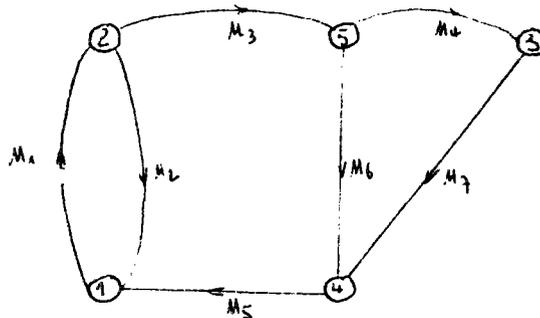


fig. 1.1

Un cycle est une chaîne dont les extrémités coïncident.

Un chemin est une chaîne dont les arcs ont la même orientation.

RAPPELS SUR LA THEORIE DES GRAPHS

Un chemin est hamiltonéen lorsqu'il passe une fois et une seule fois par chacun des sommets du graphe.

Un circuit est un chemin dont les deux extrémités coïncident.

La fermeture transitive de l'application multivoque Γ est l'application multivoque $\hat{\Gamma}$ définie par

$$\hat{\Gamma}_i = \Gamma_i \cup \Gamma_i^2 \cup \Gamma_i^3 \cup \dots \cup \Gamma_i^{N-1}$$

Γ_i^k représente l'ensemble des sommets que l'on peut atteindre à partir du sommet i par des chemins ayant exactement k arcs.

Définition 1.5 :

Le demi-degré extérieur d'un sommet i , noté $d^+(i)$ est le nombre d'arcs ayant i comme extrémité initiale.

Le demi-degré intérieur, noté $d^-(i)$, est le nombre d'arcs ayant i comme extrémité terminale.

Le degré du sommet i , noté $d(i)$, est le nombre d'arcs ayant i comme extrémité, et on a

$$d(i) = d^-(i) + d^+(i)$$

Rang d'un sommet i : Dans un graphe sans circuit un sommet est de rang r si et seulement si le nombre maximum d'arcs d'un chemin admettant x comme extrémité terminale est précisément r .

Définition 1.6 :

Un graphe conjonctif est un graphe valué $G = (X,U)$ comportant une seule entrée notée l et une seule sortie n , tel qu'il existe un chemin de valeur positive entre l'entrée l et tout autre sommet et entre tout sommet différent de la sortie n et cette sortie.

Définition 1.7 :

Connexité dans un graphe.

Par définition, un graphe $G = (X,U)$ est dit simplement connexe ou encore "connexe" s'il existe pour tout couple $(x,y) \in X \times X$, une chaîne d'extrémités x et y .

$G = (X,U)$ est dit fortement connexe si pour tout couple (x,y) de sommets X , il existe un chemin allant de x à y .

CHAPITRE II

Généralités sur les ordonnancements

GENERALITES SUR LES ORDONNANCEMENTS

1. Définitions (1)

1.1 Caractéristique d'une tâche élémentaire

Une tâche élémentaire constitue un travail considéré comme un tout indivisible. Son exécution est complètement définie par les 3 types de caractéristiques suivants :

1.1 Caractéristiques d'époque

Elles interviennent dans la localisation temporelle de l'exécution de la tâche considérée :

t_i^d : date de début de la tâche i

t_i^f : date de fin d'exécution de la tâche i

1.2 Caractéristiques de durée*

On note d_i la durée d'exécution d'une tâche i . Remarquons $d_i = t_i^f - t_i^d$, t_i^d et t_i^f étant liés, la prise en compte d'une seule de ces variables est suffisante. On prend $t_i^f = t_i^d + d_i$.

1.3 Caractéristiques de moyens

Elles concernent la nature, le mode d'emploi et la quantité de moyens nécessaires à l'exécution de la tâche considérée.

C_i^k désigne un ensemble de moyens possibles ainsi que la condition d'emploi pour l'exécution de la tâche i .

$q_i^k(\theta)$ avec $t_i^d \leq \theta \leq t_i^d + d_i$ représente la quantité du moyen $k \in K_i$ utilisée à l'instant θ pour l'exécution de la tâche i .

K_i désigne, parmi l'ensemble K de tous les moyens disponibles, ceux qui peuvent être utilisés pour l'exécution de la tâche i .

Si l'on désigne par :

- T l'ensemble des caractéristiques d'époque
- D l'ensemble des caractéristiques de durée, et
- W l'ensemble des caractéristiques de moyens,

un ordonnancement quelconque sera noté :

$$(T, D, W) = \left\{ t_i^d, d_i, C_i^k / k \in K_i \right\} \quad i \text{ étant un indice relatif à l'ensemble de } N \text{ tâches.}$$

* Cf. Annexe 1 concernant l'incertitude sur la durée d'une tâche

2. Classification des problèmes d'ordonnement

Toute solution à un problème d'ordonnement étant complètement déterminée par le système de caractéristiques T, D, W , le problème d'ordonnement se réduit alors à la détermination des inconnues de ce système.

B. ROY (1) a proposé une classification des problèmes d'ordonnement basée sur la nature des inconnues; il distingue cinq grandes classes :

- problème de type (T) : les inconnues sont les caractéristiques d'époque
- problème de type (W) : les inconnues sont les caractéristiques de moyens
- problème de type (T,D) : les inconnues sont les caractéristiques d'époque et certaines caractéristiques de durée
- problème de type (T,W) : les inconnues sont constituées par les caractéristiques d'époque et certaines caractéristiques de moyens.
- problème de type (T,D,W) : les inconnues sont relatives aux 3 types de caractéristiques.

Du fait des liaisons existant entre les caractéristiques de moyens et les caractéristiques de durée, on peut parfois ramener un problème de type (T,D,W) soit à un problème de type (T,W), soit à un problème de type (T,D). Par ailleurs, de par la liaison qui existe entre caractéristiques de durée et caractéristiques de moyens, des problèmes de type (T,D) peuvent parfois être formulés en problèmes de type (T,W). Il apparaît par conséquent 2 classes particulièrement importantes du problème qui sont :

- les problèmes de type (T)
- les problèmes de type (T,W)

Le travail présenté dans ce mémoire porte essentiellement sur une classe de problèmes de type (T). Dans chacune des classes de problèmes que nous venons d'exposer, il est possible de distinguer des sous-classes suivant les types de contraintes prises en considération.

Nous allons donc introduire ces différents types de contraintes.

2.1 Typologie de contraintes

La présence de contraintes dans un problème d'ordonnement traduit les exigences auxquelles un ordonnancement doit satisfaire pour être admissible. Ces exigences peuvent avoir un caractère interne ou externe.

. Caractère externe

On classe dans cette catégorie les exigences qui découlent de conditions externes au problème (approvisionnements, déblocage de crédit, date de livraison, quantité de moyens alloués).

GENERALITES SUR LES ORDONNANCEMENTS

. Caractère interne

On classe dans cette catégorie les exigences qui découlent des relations entre tâches (succession de tâches imposée par la nature du projet, conditions d'utilisation de moyens).

A ces deux grandes classes d'exigences, on peut associer deux types de contraintes :

. Contraintes externes

Elles interviennent sur le projet considéré comme macro-tâche. Les contraintes externes interviennent donc sur les caractéristiques de celle-ci. On peut distinguer :

1. Contraintes externes relatives aux caractéristiques temporelles du projet : elles agissent sur les caractéristiques T et D de la macro-tâche correspondante (début au plus tôt, fin au plus tard, durée maximale)
2. Contrainte externe relative à la quantité et à la disponibilité des moyens : elles agissent sur les caractéristiques W de la macro-tâche correspondante.

. Contraintes internes

On peut distinguer :

1. Les contraintes internes traduisant la structure du projet considéré comme un ensemble de tâches (succession de tâches)
2. Les contraintes internes associées aux conditions d'utilisation de moyens.

2.2 Formulation de contraintes

2.2.1 Inégalités de potentiel (1)

Rappelons qu'une tâche est repérée par ses caractéristiques (t_i, d_i, C_i^k) .

Définition : On appelle "inégalité de potentiels" une inégalité de la forme :

$$t_j - t_i \geq a_{ij} (D, W)$$

le second membre ne faisant intervenir aucune des caractéristiques inconnues du problème d'ordonnement.

GENERALITES SUR LES ORDONNANCEMENTS

2.2.2 Contraintes prises en compte par les différentes inégalités de potentiel

On peut distinguer deux types essentiels :

- Les contraintes faisant intervenir des caractéristiques d'époque inconnues

On peut ainsi prendre en compte des contraintes de :

- . date de début au plus tôt d'une tâche : $t_i - t_j > a_{ij}$

La date de référence $i = 0$ est une tâche fictive de durée nulle marquant le début d'un projet; on a par définition :

$$t_0 \leq t_i, \forall i \in \{1, \dots, N\}$$

- . date de début au plus tard, de fin au plus tôt, fin au plus tard (cf. chapitre III)

- . postérité entre deux tâches i et j

postérité stricte : $t_j - t_i \geq d_{ij}$

La tâche i ne peut débiter avant l'achèvement de la tâche j

- . postérité avec attente : $t_j - t_i \geq d_{ij} + e_{ij}$ ($e_{ij} > 0$)

- . postérité avec chevauchement : $t_j - t_i > b_{ij} \cdot d_i$ ($0 \leq b_{ij} < 1$)

- Contraintes de limitation de cumul

La quantité $q_i^k(\theta)$ déjà mentionnée, représentant la quantité du moyen k nécessaire à l'instant θ pour l'exécution de la tâche i peut être astreinte à vérifier une contrainte dite de "limite de cumul" ou cumulative, lorsque le moyen k est disponible en quantité limite $Q(\theta)$ à l'instant θ .

Soit I un ensemble de tâches du projet nécessitant pour leur exécution un moyen k . L'exécution en parallèle des tâches I est astreinte à vérifier les contraintes de limitation de cumul instantané formulé pour l'inégalité suivante :

$$\sum_{i \in I} q_i^k(\theta) < Q^k(\theta)$$

GENERALITES SUR LES ORDONNANCEMENTS

- Contraintes de disjonction d'intervalles

Ces contraintes expriment le fait que 2 phases intervenant dans l'exécution de 2 tâches i et j du projet, non astreintes à vérifier une contrainte de postérité ne peuvent être simultanées.

Soit $L_{i,j} = (t_i + c_{i,j}, t_i + f_{i,j})$ et $L_{j,i} = (t_j + c_{j,i}, t_j + f_{j,i})$ les deux intervalles avec $c_{i,j} < f_{i,j}$, $c_{j,i} < f_{j,i}$ (une au moins de ces deux inégalités étant strictes). Leur disjonction peut s'exprimer alors par 2 inégalités de potentiels liées par un ou (exclusif)

$$(t_i + c_{i,j}) - (t_j + f_{j,i}) \geq 0 \quad \text{ou} \quad (t_j + c_{j,i}) - (t_i + f_{i,j}) \geq 0$$

Ce qui peut également s'écrire :

$$t_j - t_i > f_{i,j} \quad \text{ou} \quad t_i - t_j > f_{j,i} - c_{j,i}$$

$f_{i,j}$, $c_{i,j}$, $f_{j,i}$, $c_{j,i}$ sont des fonctions de caractéristiques connues (D,W)

2.3 Sous-classes de problèmes d'ordonnement de type (T)

Dans la classe des problèmes de type T on peut en distinguer 3 par classe

2.3.1 Toutes les contraintes se réduisent à un système conjonctif d'inégalités de potentiels

Par système conjonctif d'inégalités de potentiels, il faut entendre un système d'inégalités de potentiels astreintes à être vérifiées conjointement.

Un problème d'ordonnement dont les contraintes ne font intervenir que les caractéristiques d'époque inconnues de tâches et sont toutes exprimables par des inégalités de potentiels astreintes à être vérifiées conjointement entre dans la sous-classe de problèmes d'ordonnement couramment désignée par Problème Central d'ordonnement.

2.3.2 L'ensemble des contraintes est constitué par des contraintes de postérité et de contraintes de limitation de moyens

Les problèmes entrant dans cette deuxième sous-classe sont appelés problèmes de type cumulatif.

GENERALITES SUR LES ORDONNANCEMENTS

2.3.3 L'ensemble des contraintes est constitué par des contraintes de postérité et des contraintes de disjonction d'intervalles

Les problèmes entrant dans cette dernière sous-classe sont appelés problèmes de type disjonctif. C'est le cas, par exemple, de matériels de chantier coûteux, comme les grues ou les coffrages spéciaux. Ces matériels étant unitaires, les tâches qui font appel à eux se trouvent en disjonction et l'on peut souvent préjuger de leur ordre, ou l'établir par un calcul simple. On ne peut cependant abstraire le dessin logique d'un réseau de toute traduction d'une contrainte cumulative.

En réalité, pour un praticien, il n'existe pas de différence sensible entre les contraintes dites "disjonctives" et les contraintes dites "cumulatives".

CHAPITRE III

Problème central d'ordonnement

PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT

Le problème central d'ordonnancement est un problème fondamental. Sa résolution est indispensable pour la prise en compte d'autres types de problèmes d'ordonnancement.

La grande majorité des méthodes utilisées pour la résolution du problème central d'ordonnancement s'appuient sur une représentation des contraintes par un graphe.

2 types de représentation sont habituellement adoptés.

3.1 Représentation par un graphe potentiels-étapes

Le graphe associé à cette représentation est constitué comme suit (fig. 3.1)

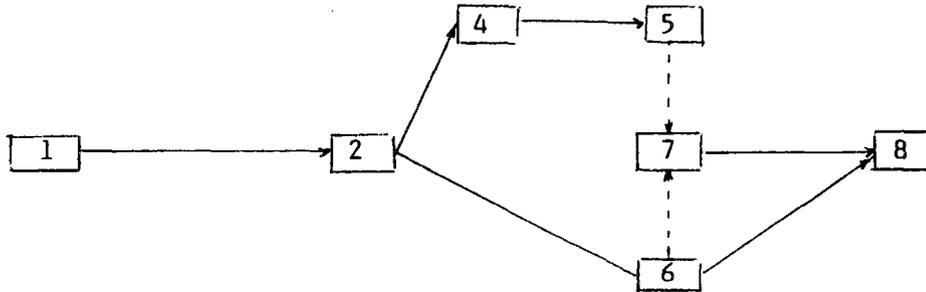
- . un arc du graphe représente une tâche du projet
- . un sommet du graphe représente une étape (événement qui sépare la fin d'une ou plusieurs tâches du début d'une ou plusieurs autres.)

Si, par ce procédé, les contraintes de postérité stricte sont ainsi parfaitement prises en compte, il n'en est pas de même pour toutes les contraintes exprimables par des inégalités de potentiels. Ainsi

- une contrainte de postérité avec attente ne peut être strictement prise en compte. On est alors amené à introduire une tâche fictive dont la durée représente l'attente.
- Par contre, une contrainte de postérité avec chevauchement pose d'autres types de difficultés. Sa prise en compte consiste habituellement à scinder la première tâche en 2 parties : une partie strictement antérieure à la deuxième tâche et une autre qui lui est simultanée.

La méthode PERT potentiels-étapes, utilisant une telle représentation est un procédé purement séquentiel de type "fin-début", présentant les inconvénients majeurs cités plus haut. Comme avantages, les étapes utilisées sont commodes pour la visualisation des états successifs d'avancement; d'autre part, l'écriture d'un programme est relativement facile si l'on se contente des résultats de potentiels des étapes.

Cette méthode, connue également sous le nom de méthode américaine, a été mise au point pour la première fois aux Etats-Unis, en 1958, à l'occasion du projet POLARIS. Elle fait partie des méthodes PERT et CPM.



---- : tâche fictive

fig. 3.1 Graphe potentiels-étapes

3.2 Représentation par un graphe potentiels-tâches

La méthode potentiels-tâches utilisant cette représentation permet de résoudre toutes les contraintes formulables par des inégalités de potentiels.

C'est donc cette méthode que nous utiliserons; nous en faisons une présentation plus détaillée.

Eléments du modèle (3)

a) Logique niveaux

Considérons le graphe dont les sommets sont classés par rang (cf. fig. 3.2)

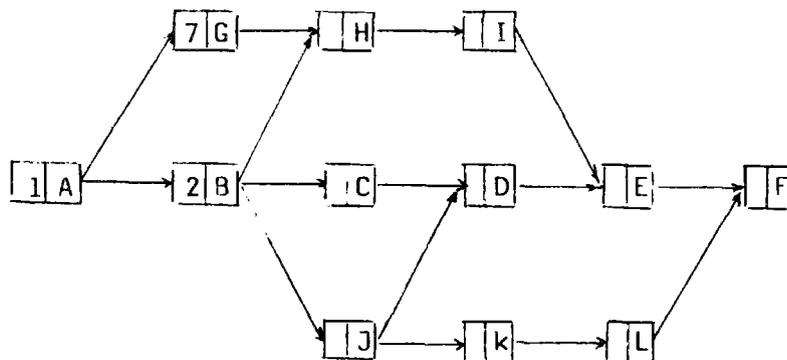


fig. 3.2 : Graphe potentiels-tâches

PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT

Supposons que :

- les sommets représentent non plus les tâches élémentaires comme habituellement par cette méthode (1), mais uniquement leur début d'exécution (db) (ex : db début d'exécution de la tâche A, db début d'exécution de la tâche B, etc.), et
- que les arcs représentent, pour leur part, les relations de dépendance entre les différents sommets.

De cette représentation, il résulte que si l'on connaît l'ensemble D des débuts d'activités et l'ensemble P des relations d'ascendance ou de descendance, on dispose alors d'une logique (\mathcal{L}) parfaitement définie, pouvant s'écrire :

$$\mathcal{L} = (D, R)$$

b) Introduction du temps

Nous venons de voir comment, sur la base de données logiques de départ, il est possible d'obtenir une structure ordinale de l'ensemble. Pour que cette structure soit cardinale, c'est à dire mesurable, il est nécessaire d'introduire le facteur temps.

1°) Application aux sommets

Affecter le facteur temps à un sommet, c'est définir la durée d'exécution (d)_s s'écoulant entre le début et la fin de l'activité ayant pour début le sommet en question.

Cette affectation doit être considérée comme neutre, car elle n'a aucune action sur les autres éléments du modèle.

2°) Application aux arcs

Si on affecte le facteur temps à un arc (i,j), nous déterminons une contrainte $i(C)_j$ mesurant le temps qui doit s'écouler entre le début s de l'activité i et le début s de l'activité j (ex : $1(C)_7$ mesure le temps s'écoulant entre A et G pour l'arc (A,G)). Cette affectation est active puisque, appliquée à des parties intégrantes de la logique, elle entraîne des implications pour l'ensemble du système.

Durée d'exécution et contrainte sont donc 2 notions distinctes. La première unit deux points d'une même activité. Pour la seconde, unissant deux points de deux activités différentes, sa valeur peut être éventuellement influencée par des phénomènes extérieurs, indépendamment des activités ancêtres, ce qui fait l'originalité et la souplesse de la méthode.

PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT

c) Contrainte totale - contrainte relative

La contrainte, telle qu'elle vient d'être définie comme fonction à la fois de la durée de l'activité ascendante $(d)_i$ et d'événements imputables à un phénomène extérieur de durée $(d)_e$ avec

$$i(CT)_j = (d)_i + (d)_e$$

est appelée contrainte totale.

Reliant entre eux les débuts d'activités adjacentes, c'est elle qui sert de base à la détermination des potentiels du réseau.

Si, dans la formule précédente, on isole la durée de prise en compte du phénomène extérieur, on arrive à la notion de contrainte relative (CR) avec :

$$i(CR)_j = i(CT)_j - (d)_i = (d)_e$$

montrant que $(d)_i$ peut être considéré comme un paramètre de translation et CR comme une contrainte de type "fin-début" faisant dépendre le début de l'activité descendante de la fin de l'activité ascendante.

Selon la valeur affectée à $(d)_e$ (négative, nulle ou positive), on obtient une des 3 configurations de la fig. 3.3 qui expriment respectivement :

- la postérité avec chevauchement ou encore recouvrement ($CR < 0$)
- la postérité stricte ou encore la séquence ($CR = 0$)
- la postérité avec attente ($CR > 0$)

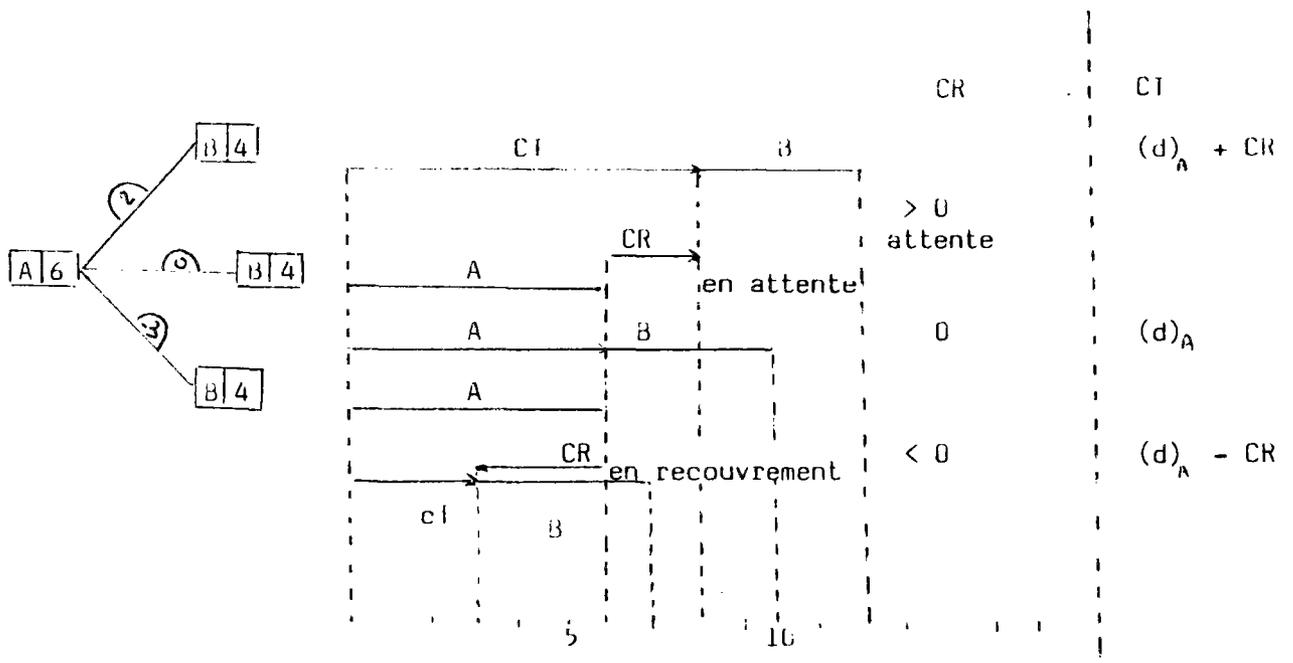


fig. 3.3 Contraintes relatives et totales

Cette méthode a été mise au point pour la première fois en France par B. ROY à l'occasion de la construction du paquebot France. Elle fait partie des méthodes MPI et antécédents.

3.3 Applications des méthodes à chemins critiques

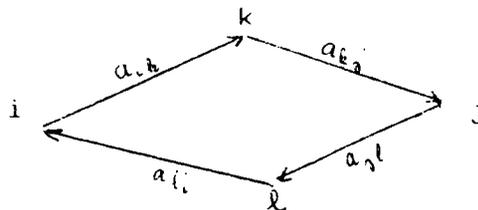
3.3.1 Quelques résultats

. théorème d'existence de potentiels

Une condition nécessaire et suffisante pour qu'il existe un ensemble de potentiels sur un graphe conjonctif $g = (X, U)$ est que ce graphe n'ait pas de circuit absorbant, c'est à dire de valuation strictement positive.

Pour une démonstration de théorème voir (1).

Signalons seulement que si 2 sommets i et j sont situés sur un même circuit tel que celui de la figure suivante :



on doit avoir :

$$t_i - t_j \geq a_{jl} + a_{li}$$

et

$$t_j - t_i \geq a_{ik} + a_{kj}$$

Si l'on effectue la somme de 2 inégalités membre à membre, on a :

$$0 \geq a_{jl} + a_{li} + a_{ik} + a_{kj}$$

Si le circuit est de longueur strictement positive, on a :

$$0 < a_{jl} + a_{li} + a_{ik} + a_{kj} \leq 0 \quad \text{ce qui est impossible.}$$

3.3.2 Résolution du problème central d'ordonnancement

3.3.2.1 Potentiels

Considérons un projet comportant N tâches numérotées de 1 à N .
Les contraintes de postériorité sont définies sur l'ensemble $N \times N$.

Soit $G = (X, U)$, X ensemble des sommets, U ensemble des arcs, le graphe associé à une représentation potentiels-tâches du problème d'ordonnancement ainsi constitué. A l'ensemble des tâches du projet, joignons 2 autres tâches 0 et $N + 1$, toutes deux de durée nulle. La tâche 0 marque le début du projet, la tâche $N + 1$ la fin.

Soit $G^*(X, U^*)$ le groupe déduit de $G(X, U)$, par adjonction des sommets 0 et $N + 1$, correspondant aux tâches 0 et $N + 1$. Posons par définition $(DO)_0 = 0$ (date de début au plus tôt de la tâche 0). En recherchant sur ce graphe le plus long chemin joignant deux sommets i et j , il est possible de déterminer la date de début au plus tôt de chacune des tâches du projet, et, par suite, sa fin au plus tôt.

Soit $T = \left\{ (DO)_i / i \in (0, \dots, N + 1) \right\}$ l'ensemble de ces dates.

On a ainsi construit un ordonnancement au plus tôt.

Si on se fixe la date de début au plus tard $(DA)_{N+1}$ ($(DA)_{N+1} \geq (DO)_{N+1}$), on peut, en appliquant le même principe, en partant cette fois-ci du sommet $N + 1$, déterminer la date de début au plus tard de chacune des tâches. Soit :

$T = \left\{ (DA)_i / i \in (0, \dots, N + 1) \right\}$ l'ensemble de ces dates. On a ainsi obtenu l'ordonnancement au plus tard.

Algorithmes utilisés

Pour la détermination de ces potentiels, il est nécessaire au préalable de vérifier l'inexistence de circuit sur le graphe $G(X, U)$. La détermination de la fonction rang des sommets sert pour le dessin du graphe et pour la méthode de calcul des potentiels utilisés.

a) Algorithme de recherche de la fonction rang d'un sommet (2)

1°) Poser $d_i^- = |r_i| \forall i \in X$

$k = 0, S = X$

2°) Soit S_k , l'ensemble des sommets $i \in S$ tel que $d_i^- = 0$

Pour tout $i \in S_k$, faire

- . $r(i) = k$
- . pour tout $j \in r_i^-$, $d_j^- \leftarrow d_i^- - 1$

3°) $S \leftarrow S - k$ et $k \leftarrow k + 1$. Si $|S| = 0$ Fin, Sinon aller en 2°)

PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT

b) Vérification de non-circuit sur le graphe $G(X,U)$

Un graphe d'ordre N ne pouvant pas comporter de chemin élémentaire de longueur égale ou supérieure à N , il suffit pour que le graphe soit sans circuit que sa matrice associée élevée à la puissance N soit identiquement nulle.

La matrice associée A d'un graphe $G = (X,U)$ est telle que :

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } (i,j) \in U \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Cette méthode nécessite une place mémoire importante et ne précise pas les sommets formant le(s) circuit(s). La méthode suivante due à B. ROY (4) est donc préférable :

- 1) définir le graphe par un tableau à simple entrée dont la i -ème ligne est constituée par la suite des indices des suivants des sommets x .
- 2) Chercher une ligne vide et barrer le n° de cette ligne partout où il apparaît dans le tableau, itérer cette procédure aussi longtemps que possible en considérant comme vide toute ligne ne portant que des nombres barrés.
- 3) Si tous les nombres peuvent être barrés, le graphe est sans circuit.
- 4) Si tous les nombres ne peuvent être barrés, le graphe possède au moins un circuit. On peut en construire un en procédant ainsi : choisir un nombre correspondant à une ligne non vide, puis un nombre non barré écrit sur la ligne indiquée par le dernier nombre choisi, etc., poursuivre cette succession de choix jusqu'à ce que la liste de nombres qu'elle définit contienne une répétition. La séquence de sommets s'insérant entre les éléments répétés fournit un circuit (à condition de les ordonner dans le sens inverse).

c) Algorithme de ROY pour la fermeture transitive d'un graphe

Soit A la matrice associée au graphe $G = (X,U)$

La matrice A^* représentant la fermeture transitive est obtenue par l'algorithme suivant :

pour k de 1 à N

faire pour i et j de 1 à N

$a_{ij} \leftarrow \max(a_{ij}, a_{ik} \times a_{kj})$

$(A^*)_{ij} = 1$ si et seulement si il existe un chemin de i à j

PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT

d) Algorithme de recherche des potentiels de début au plus tôt (DO)

1°) Poser $(DO)_i = 0$

2°) Prendre les sommets de J par rang croissant et faire

$$(DO)_j = \max \left[(DO)_i + i(CT)_j \right] \forall i \in P_j$$

$$\text{avec } i(CT)_j = d_i + d(i,j)$$

e) Algorithme de recherche pour les potentiels de début au plus tard (DA)

1°) Poser $(DA)_{N+1} = (DO)_{N+1}$

2°) Prendre les sommets par rang décroissant et faire

$$(DA)_i = \min \left[(DA)_j - j(CT)_i \right] \forall j \in P_i^*$$

f) Les potentiels de fin au plus tôt (FO) et de fin au plus tard (FA) se déduisent des potentiels des débuts au plus tôt et des débuts au plus tard

$$(FO)_i = (DO)_i + d_i$$

$$(FA)_i = (DA)_i + d_i$$

3.3.2 Notion de marges

Nous rappelons quelques notions habituelles.

On appelle marge totale (MT) d'une tâche i la valeur dont on peut retarder sa date de début au plus tôt sans augmenter la date de fin au plus tard du projet qui est prise égale à sa date de fin au plus tôt ($(DA)_{N+1} = (DO)_{N+1}$)

$$(MT)_i = (DA)_i - (DO)_i = (FA)_i - (FO)_i$$

Elle caractérise localement l'autonomie maximale relativement à la tâche i. Les marges totales n'étant pas indépendantes entre elles, il faut souligner que l'utilisation locale de l'autonomie maximale associée à une tâche i entraîne une réduction de celles associées aux tâches restant à exécuter.

PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT

Il est intéressant de connaître l'autonomie dont on peut disposer pour le début d'une tâche i sans affecter celles relatives aux autres tâches. Le concept de marge libre constitue une réponse.

La marge libre représente la latitude disponible pour le début d'exécution de la tâche i sans affecter celles des tâches qui lui succèdent si les tâches qui la précèdent débutent au plus tôt.

$$(ML)_i = \min_j (DO)_j - \left[(DO)_i + j(CT)_i \right] \quad \forall i \in N_s$$

3.2 Importance du concept de marge

Le concept de marge prend toute son importance si on le considère dans le cadre de la conduite de la réalisation. En effet, la mise en oeuvre de cette réalisation, surtout dans le domaine BTP, se déroule en milieu perturbé.

Supposons que l'on ait choisi d'exécuter l'ensemble des tâches selon leurs potentiels au plus tôt. Au fur et à mesure que se déroule l'exécution des tâches, des perturbations peuvent survenir (rupture d'approvisionnement, pannes, etc...). Cela signifie que certaines dates de début augmentent, d'où une réduction de la marge libre des tâches correspondantes.

Les perturbations des tâches dont la marge totale est nulle, c'est à dire celles situées sur le(s) chemin(s) critique(s), permettent d'évaluer immédiatement les conséquences sur la fin du projet.

3.4 Passage des potentiels aux dates usuelles

Les résultats de potentiels ne peuvent être utilisés directement pour la réalisation des projets. Il convient en effet d'effectuer le passage des potentiels aux dates établies selon un calendrier usuel. Pour cela, il convient de tenir compte de :

- la structure des jours ouvrables
- les jours fériés (usuels et éventuellement propres au réalisateur)
- des dates imposées.

Au cours du chapitre précédent, les potentiels ont toujours été calculés par rapport à une origine prise égale à zéro, correspondant généralement à une date réelle du calendrier.

En réalité, du fait d'impératifs externes, il devient inévitable que certaines exigences calendaires se manifestent sous forme de contraintes, indépendamment de la logique interne calant les activités entre elles.

PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT

Deux cas de dates imposées peuvent se poser :

- la date de début au plus tôt ne peut avoir lieu qu'après une date imposée DI. Pour satisfaire la relation $(DO)_x \geq DI$, on prendra $\max((do)_x, DI)$
- la date de début au plus tôt ne peut avoir lieu qu'avant une date imposée DI. Ce type de contrainte sert d'indicateur de respect ou de non respect de la date imposée chaque fois que les contraintes logiques conduisent à avoir $(DO)_x < DI$.

E. MAUREL, D. ROUX et E. DUPONT (3) proposent des relations pour le passage d'un calendrier ordinateur à un calendrier usuel et inversement.

L'algorithme de calcul d'une date DO en calendrier ordinateur est ainsi proposé :

1°) Déterminer le nombre de jours travaillés dans la semaine (NJTS) admis par la structure ouvrable i

2°) Calculer le nombre de semaines travaillées et le nombre de jours restants (NJR) qu'il y a dans la contrainte $i(CT)_j$, estimés en jours élémentaires -1

$$NST = \frac{i(CT)_j - 1}{NJTS} \quad \text{et} \quad NJR = i(CT)_j - 1 - NST \times NJTS$$

3°) Ajouter à la date de l'ancêtre i un nombre de jours égal à $7 \times NST$

$$(DO)_j = (DO)_i + 7 * NST$$

4°) Ajouter les jours restants (NJR) un à un en vérifiant qu'ils peuvent être travaillés

$$(DO)_j = (DO)_j + NJR$$

5°) Recenser le nombre de jours fériés (NJF) compris entre les dates $(DO)_i$ et $(DO)_j$. Les ajouter un à un en vérifiant que les dates obtenues peuvent être travaillées.

$$(DO)_j = (DO)_j + NJF$$

6°) Ajouter 1

$$(DO)_j = (DO)_j + 1$$

7°) Vérifier que la date obtenue correspond à un jour travaillé dans la structure ouvrable de l'activité j elle-même. Sinon, ajouter 1 jusqu'à ce qu'on trouve un jour acceptable.

On doit faire attention à la détermination des dates calendaires de tâches comportant certaines fonctions spécifiques telles que le séchage qui ne sont pas influencées par la structure ouvrable. Ainsi lorsqu'une tâche comporte un temps de séchage important, sa prise en compte peut consister à scinder cette tâche en deux parties : travaux et séchage.

PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT

graphiques

La forme graphique est la seule qui puisse être consultée facilement, car une série de couples (ancêtre, descendant) a de quoi décourager l'utilisateur le plus attentif.

Nous avons donc réalisé trois types de sorties graphiques.

1) Graphique GANTT et courbes de charge

Le graphique de GANTT n'est pas une méthode pour résoudre les problèmes d'ordonnancement, mais seulement une méthode pour représenter une solution. Cette méthode très ancienne est excellente car très facile à lire même pour les profanes.

Ce type de document permet de livrer les caractéristiques de chaque activité en regard d'une échelle de temps.

Les fig. 3.4 et 3.5 rapportent le diagramme de GANTT et les courbes de charge (cf. chapitre V) d'un ordonnancement à cinq tâches (1), (2), (3), (4), (5), de durée $d_1 = 6$, $d_2 = 3$, $d_3 = 4$, $d_4 = 5$, $d_5 = 5$ et utilisant respectivement 4, 1, 3, 2, 3 unités de ressource 1 et 8, 7, 10, 10, 4 unités de ressources 2 lorsque les dates d'exécution des tâches sont 0, 3, 6, 8, 10

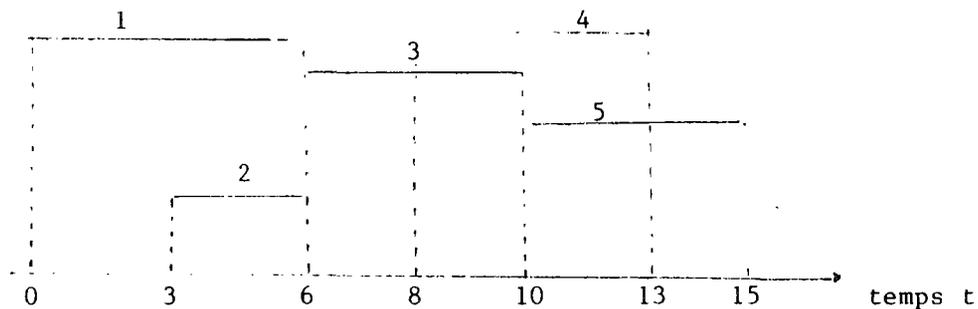


fig. 3.4 Diagramme de GANTT

PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT

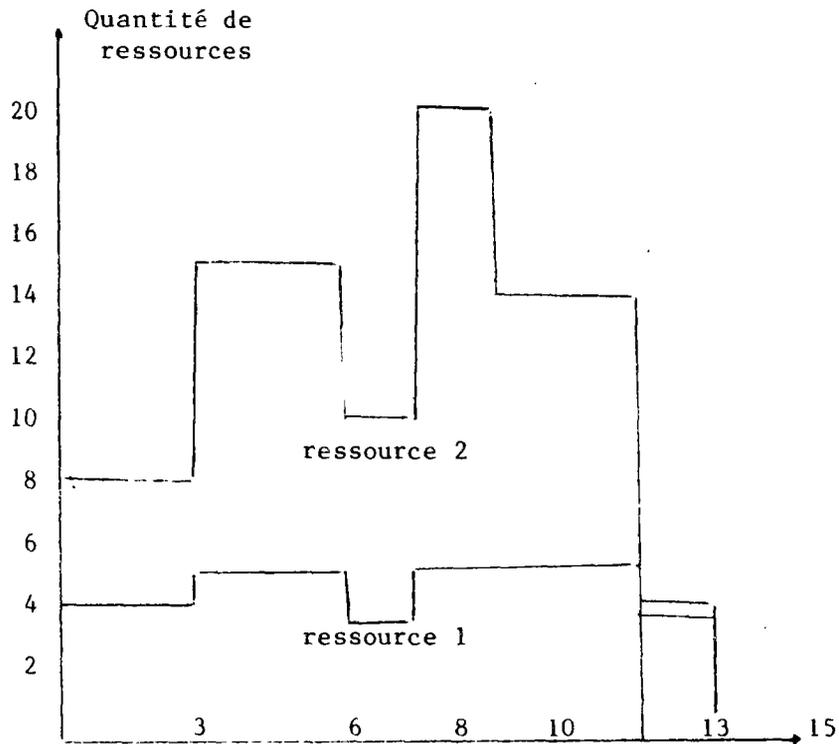


fig. 3.5 Diagramme courbe de charge

Ces documents sont importants en ordonnancement. Nous les étudierons d'une manière plus détaillée dans la deuxième partie de ce rapport.

2) Réseau logique

2.1 Utilité du réseau logique

En ordonnancement, le diagramme GANTT ne suffit pas. On a besoin d'un graphe mettant l'accent sur l'enchaînement logique des tâches et non sur les dates de réalisation.

En effet, si une perturbation survient, alors ce type de document est le seul qui soit adapté pour décider des priorités à respecter.

Nous avons choisi la représentation de ce graphe par niveau logique (rang). Cette présence de niveau logique donne une orientation implicite des arcs (gauche-droite), ce qui fait que les flèches deviennent inutiles.

Nous plaçons dans chaque sommet un rectangle qui donne les principaux résultats d'une activité tel que représenté en fig. 3.6.

PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT

DO	DA
J	D
FO	FA

J = numéro de la tâche

fig. 3.6 Indications sur une tâche j

2.2 Problèmes théoriques

Le problème le plus fréquemment évoqué lorsqu'on mentionne le tracé graphique est celui de la réduction du nombre d'intersections entre les arcs, les graphes PERT n'étant pas planaires. Il est, en effet, nécessaire de garder pour un graphe un nombre faible d'intersections entre les arcs, si l'on veut saisir rapidement les liens entre tâches.

Si l'on prend deux sommets i et j quelconques sur le niveau courant, le nombre d'intersections entre arcs qui les atteignent dépend de leurs positions respectives comme le montre la fig. 3.7.

En notant a_{ij} le nombre d'intersections entre ces arcs, si i est placé avant j sur le niveau courant et a_{ji} le nombre obtenu lorsque j est avant i, V. VITTEK (32) ramène ce problème de réduction du nombre d'intersections entre arcs à l'étude d'une fonction économique N qui a une permutation G de l'ensemble NP (NP désigne le nombre de sommets sur le niveau P) éléments associés

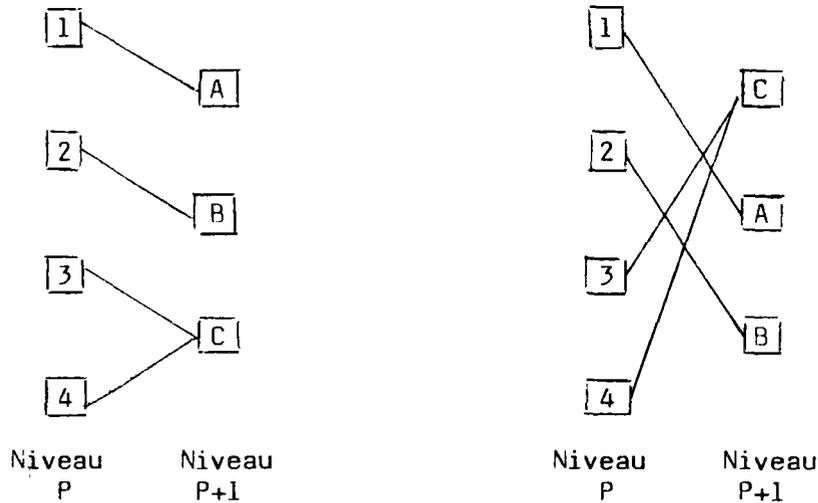


fig. 3.7 Influence de la position des sommets sur le nombre d'intersections

Cette fonction s'écrit :

$$N(\bar{v}) = \sum_{i=1}^{NP} \sum_{j>i} a_{\bar{v}(i)\bar{v}(j)}$$

PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT

Mais ce problème étant NP complet, donc difficile à résoudre, il a été finalement amené à proposer des heuristiques (cf. chap. V).

DIMITRI et KHALDOUN (33) ont également fait des approches de réduction d'intersection, en se basant sur le calcul des ordonnées des sommets en fonction de certains critères (nombre de connections par sommet, etc...). Sans tomber dans le cas trivial où chaque niveau ne comporte qu'une seule activité (dans ce cas, il n'y a pas d'intersections), le nombre d'activités par niveau pour notre cas sera forcément réduit puisque le nombre total de tâches est supposé ne pas être important.

Nous avons cependant suivi l'approche dont sont partis BERMOND et KORDIATOFF (34) qui consiste à placer les sommets dans l'ordre de leurs demi-degrés extérieurs décroissants.

Soit K le nombre maximum de sommets ayant le même rang. Soit C_1 et C_2 2 constantes définies respectivement à partir du rang maximal $R(N)$ et de K . Soit $Nb(i)$ une fonction qui donne le nombre de sommets maximum pour chaque rang i .

L'algorithme adopté est le suivant :

1°) Etablir une liste L des sommets i pris par rangs croissants et en cas d'égalité départagés par d décroissants.

2°) Soit J le 1er sommet de cette liste L .

Si $Nb(J) > 1$ aller en 3°

sinon $X(J) = C_1 \times R(J)$

$Y(J) = C_2$

Si j est le sommet terminal aller en 4°

sinon supprimer j de la liste L . Aller en 2°

3°) $X(J) = C_1 \times R(J)$

$Y(J) = Y(P) \times C_2$

P étant le dernier sommet examiné ayant même rang que J

Si j est le sommet terminal aller en 4°

sinon supprimer j de la liste L . Aller en 2°

4°) Faire pour $i = 1, N$ et $j = 1, M$

Pour tout arc (i, j) défini par la matrice des successeurs,

si $MT(i) = 0$ et $MT(j) = 0$ aller en 5°

Sinon tracer l'arc (i, j) d'une façon normale (traits continus sur terminal graphique TEKTRONIX, couleur noire sur traceur BENSON)

5°) Tracer l'arc (i, j) d'une façon particulière (traits discontinus sur terminal graphique TEKTRONIX, couleur rouge sur traceur BENSON)

C H A P I T R E I V

Les problèmes cumulatifs

LES PROBLEMES CUMULATIFS

La réalisation de tout projet fait appel à des moyens dont la disponibilité influence la fixation, l'objectif et l'ordonnement du projet.

J.F. BOSS (18) écrit "... une grande partie des efforts consacrés à la gestion du projet s'applique donc à l'analyse des moyens nécessaires, afin d'assurer la compatibilité des besoins et le contrôle de l'utilisation des moyens. Cependant, l'analyse des projets par les diverses méthodes de chemin critique ne tient pas compte explicitement des ressources dans ces formes initiales". Ces ressources peuvent être évidemment constituées d'argent, de matériaux, de personnel, etc....

La présence de telles limitations de ressources introduit un aspect combinatoire lié aux conflits intervenant entre tâches utilisant une même ressource. Les notions de marges et de dates limites ne suffisent plus à caractériser l'ensemble des ordonnancements admissibles*.

On appelle problème cumulatif tout problème d'ordonnement soumis à deux types de contraintes potentielles et de limitation de ressources. Une contrainte cumulative apparaîtra, par exemple, pour un ensemble de tâches de maçonnerie si trois maçons seulement sont disponibles : on ne pourra pas exécuter, à la fois, plus de 3 de ces tâches sans que l'on puisse savoir à l'avance laquelle sera retardée.

Nous nous intéresserons, dans ce qui suit, à une certaine classe de ces problèmes cumulatifs.

1) Définition :

Soit n le nombre de tâches. Chaque tâche i aura :

- une intensité M_i (nombre de moyens nécessaires à son exécution)
- une charge $C_i = M_i \times d_i$. Cette charge peut être assimilée à une quantité de travail (fig. 4.1)

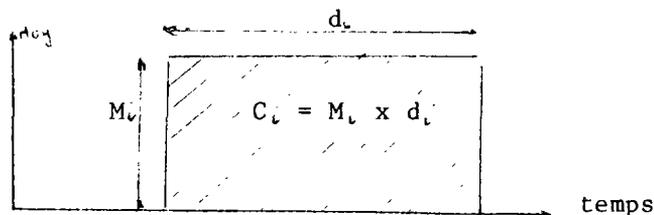


fig. 4.1

- La charge totale sera $CHT = \sum C_i$, pour i variant de 1 à n
- T_c représentera le temps critique.

* On dit d'un ordonnancement qu'il est admissible ou réalisable s'il respecte toutes les contraintes impératives.

LES PROBLEMES CUMULATIFS

Pour chaque ordonnancement réalisable, on définit :

- t_i : début réel d'exécution de la tâche i
- T_n : durée réelle d'exécution de l'ensemble du projet ($T_n \gg T_c$, temps critique ne tenant pas compte des ressources)
- La fonction de charge $I(k)$, k variant de 1 à T_n (voir fig. 4.2)
 $I(k)$ représente le nombre cumulé de moyens nécessaires durant la k -ième unité de temps.
- L'intensité maximale : $I_{max} = \max(I(k))$ pour $k \in (1, T_n)$
- L'intensité moyenne est : $I_m = \left\lceil \frac{CHT}{T_n} \right\rceil$
- ($\lceil \cdot \rceil$) : partie entière supérieure
- L'écart partiel durant la k -ième unité de temps sera : $e_k = |I(k) - I_m|$
- L'écart total est : $E = \sum e_k$ pour $k \in (1, T_n)$

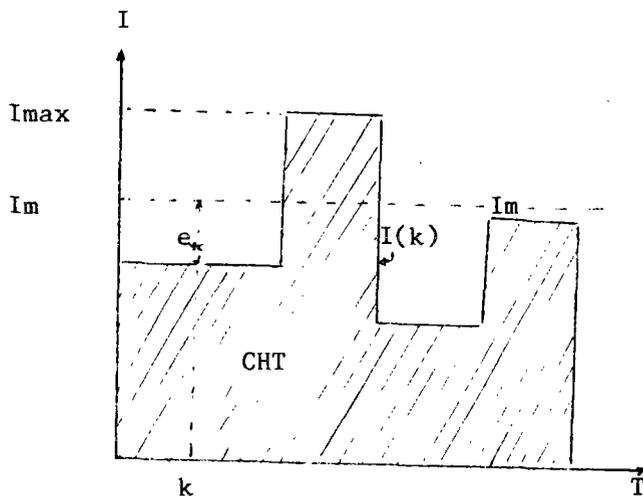


fig.4.2

2) Types de problèmes cumulatifs dans le domaine du bâtiment

Le nombre de problèmes cumulatifs est très important, on peut trouver autant de problèmes cumulatifs que de projets.

Dans le domaine du bâtiment, le délai de réalisation est en général le critère le plus important. Nous nous sommes alors intéressés aux problèmes suivants, les plus représentatifs :

- optimisation du délai total avec des ressources données,
- optimisation des ressources avec un délai donné.

Les problèmes auxquels nous nous sommes intéressés sont des problèmes à un seul moyen. Lorsqu'il y a plusieurs ressources limitées, on traitera chaque ressource, on choisira ensuite la solution (la plus contraignante) qui vérifie l'ensemble des limitations de ressources.

En pratique, on s'intéresse aux limitations de ressources importantes telles que des équipements spéciaux, des équipes spécialisées, etc..

LES PROBLEMES CUMULATIFS

2.1 Optimisation de ressources avec un délai donné

Le problème le plus utilisé de cette classe est connu sous le nom de "lissage".

La courbe de charge $I(k)$ obtenue à partir des résultats des potentiels n'est généralement pas satisfaisante : elle présente trop de variations, c'est à dire que l'écart total E est important. Ces variations peuvent correspondre, suivant le moyen utilisé, à des embauches et débauches ou à des immobilisations de matériels, engendrant ainsi des frais pouvant être importants.

Ce problème a d'avantage d'importance pour les PME puisqu'elles ne disposent pas en général d'un grand nombre de projets pour rendre plus souple l'utilisation des ressources.

Ce problème peut être formulé de la manière suivante : Trouver un ordonnancement réalisable minimisant l'écart total E sous la contrainte $T_n = T_c$

Il consiste donc à tenter d'obtenir un niveau aussi constant que possible des ressources utilisées, c'est à dire une stabilité de la courbe de charge dans le temps.

2.2 Optimisation du délai avec des ressources données

Ce problème est connu également sous le nom de "Nivellement".

L'ordonnancement défini dans le problème central aboutit à une liste de ressources définie dans le temps. En BTP, les ressources les plus importantes sont constituées pour l'essentiel par des centrales à béton, des grues, des coffrages. Lorsque ces ressources sont supérieures à celles dont dispose l'entreprise, cet ordonnancement n'est plus réalisable. Le problème peut être alors formulé de la manière suivante : Trouver un ordonnancement réalisable minimisant le temps réel sous la contrainte $I_{max} \leq M$, M étant une constante donnée.

2.3 Exemple d'illustration des problèmes de lissage et de nivellement

Soit un ordonnancement défini par l'exemple de la fig. 4.3

LES PROBLEMES CUMULATIFS

Cet ordonnancement aboutit au diagramme GANTT (fig. 4.4) et à la courbe de charge (fig. 4.5). La durée de cet ordonnancement au plus tôt serait alors de 11 jours.

aspect lissage : la fig.4.5 montre qu'il est nécessaire d'utiliser aux 2ème et 3ème jours 25 unités alors qu'au 4° 12 unités suffisent. De telles fluctuations, bien que techniquement possibles, ne sont en général pas admises.

aspect nivellement : Si la ressource totale qui peut être mise à la disposition du projet est inférieure à 25, cet ordonnancement est impossible. Il convient donc de trouver un autre ordonnancement qui satisferait à la condition $I_{max} < 25$ et qui minimiserait T_n

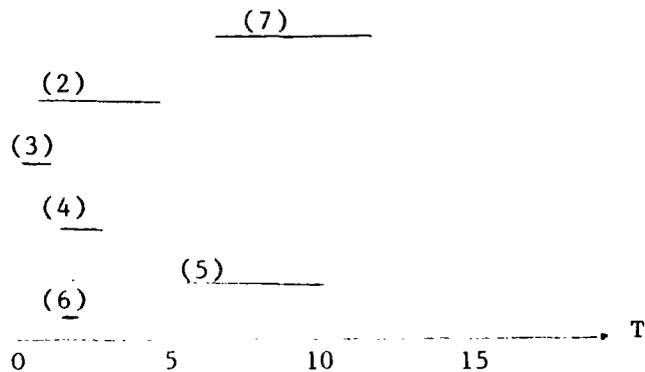


fig. 4.4 : Diagramme GANTT

LES PROBLEMES CUMULATIFS

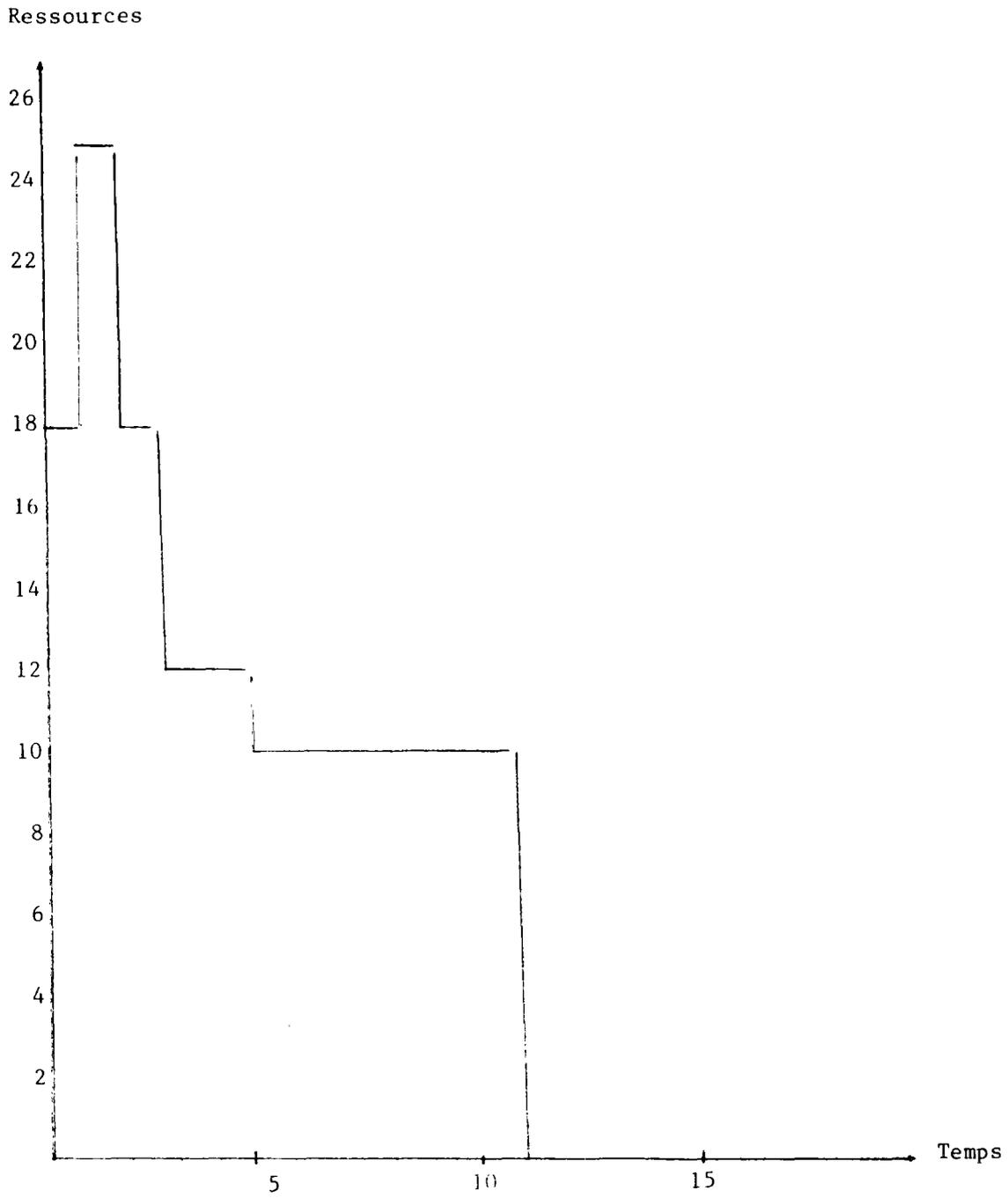


fig. 4.5 : Diagramme de charge

3. Nivellement

3.1 Modélisation des contraintes de cumul de moyens

En gardant les notations du chapitre II, soit I un ensemble de tâches dont la réalisation nécessite l'utilisation d'un moyen k tel que :

$$\sum_{i \in I} q_i^k \geq Q^k$$

Les tâches constituant l'ensemble I ne peuvent être exécutées simultanément, c'est à dire que deux tâches au moins parmi celles-ci doivent être exécutées sur des intervalles de temps disjoints. Pour chacune des tâches appartenant à I, on devra écrire :

$$\forall i \in I, q_i^k \leq Q^k - \sum_{\substack{j \in I \\ j \neq i}} q_j^k J_{i,j}$$

inégalité dans laquelle la variable $J_{i,j}$ vaut 1 si le début de la tâche i est compris dans l'intervalle de temps où est exécutée la tâche j, 0 sinon. On voit qu'on est ramené à un programme linéaire mixte.

Parmi les diverses méthodes connues pour la résolution des programmes linéaires mixtes, on peut citer la méthode de BENDERS (37,38) qui semble la plus appropriée car il s'agit d'une méthode très générale de décomposition.

Cependant, si la programmation linéaire donne des résultats exactes, elle n'est pas envisageable dans le cas de problèmes de chantier où le nombre de tâches (qui constituent les variables) peut être important, la rendant aussi inopérante.

3.2 Méthodes heuristiques

Nous entendons par méthodes heuristiques toute procédure de recherche d'une bonne solution du problème par opposition à la recherche d'une solution optimale. De telles procédures sont utilisées lorsque les méthodes exactes de résolution sont d'une application trop lourde. Pour les problèmes cumulatifs, on peut classer les méthodes heuristiques en 2 catégories (15) :

- les méthodes chronologiques basées essentiellement sur un avancement dans le temps sans aucune possibilité de revenir en arrière,

LES PROBLEMES CUMULATIFS

- les méthodes non chronologiques s'appuyant sur la notion de succession d'une tâche dans le graphe représentatif du projet. Aucune référence au temps n'est faite, l'avancement dans le temps n'est donc pas nécessairement progressif.

3.2.1 Les méthodes chronologiques

Elles peuvent être décrites par le principe général suivant :

- une discrétisation du temps est effectuée
- à chacun des instants ainsi défini, des décisions irrévocables de commencer certaines tâches sont prises en fonction d'un critère de choix établi une fois pour toutes au départ du traitement.

Un avancement du temps par pas successifs est donc effectué, les décisions prises à l'instant t n'étant fonction que des décisions antérieures, c'est à dire de la partie d'ordonnancement déjà mise en place.

Des critères variés de lancement des tâches peuvent être utilisés. Ils donnent des résultats différents : nous reviendrons sur ces critères.

Pour l'algorithme détaillé de cette méthode, voir (15). L'organigramme de cette méthode est illustré par la fig. 5.6.

Selon la manière de prendre en compte le critère de hiérarchisation, on peut distinguer :

- Méthode sériellée : à l'instant $T_n = 0$, on établit une liste globale de toutes les tâches classées avec le critère de choix retenu, liste dite potentielle. Cette liste reste immuable jusqu'à la fin (classement topologique).
- Méthode parallèle : Un nouvel ordre de priorité des tâches est recalculé à chaque instant t_i envisagé. Il y a, par conséquence, une actualisation des critères tenant compte des décisions prises (classement non topologique).

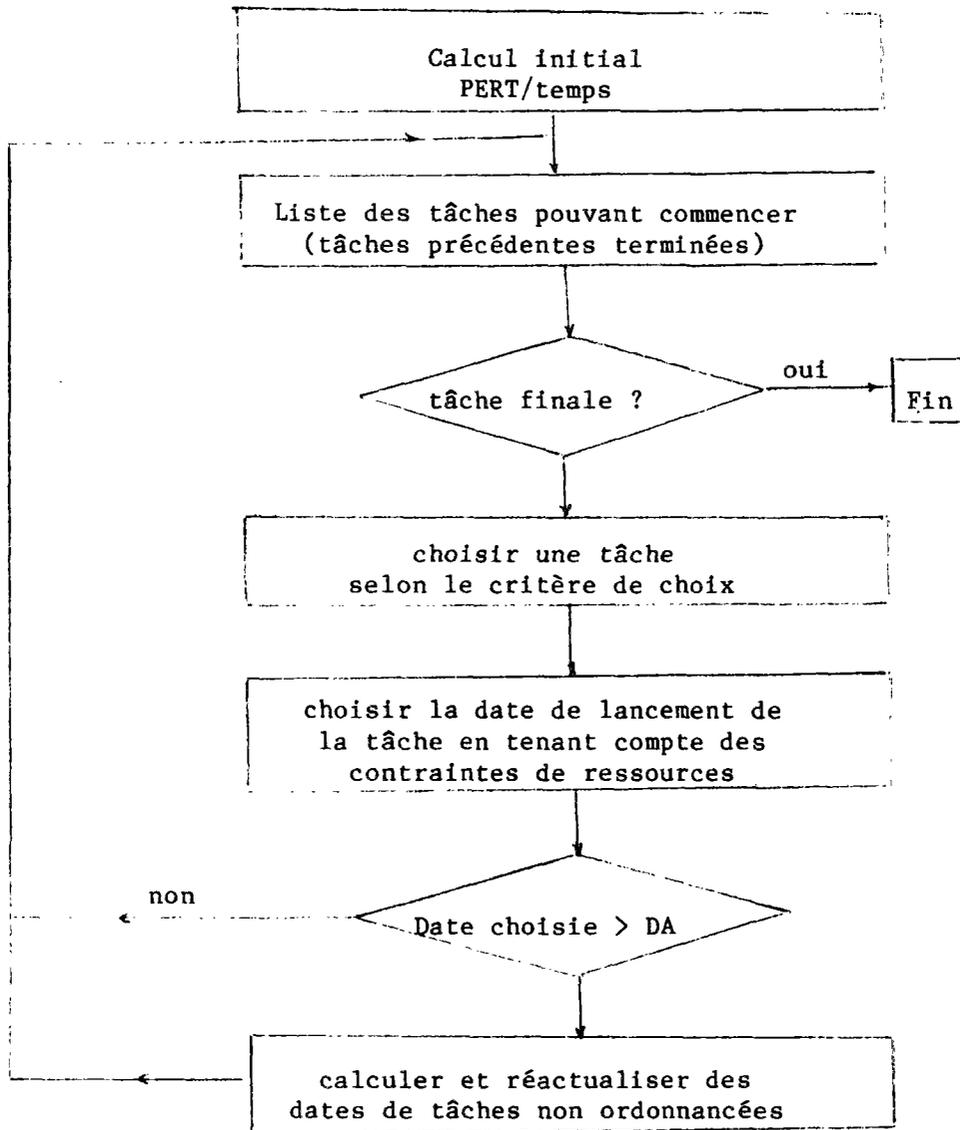


fig. 4.7 : Organigramme de la méthode non chronologique

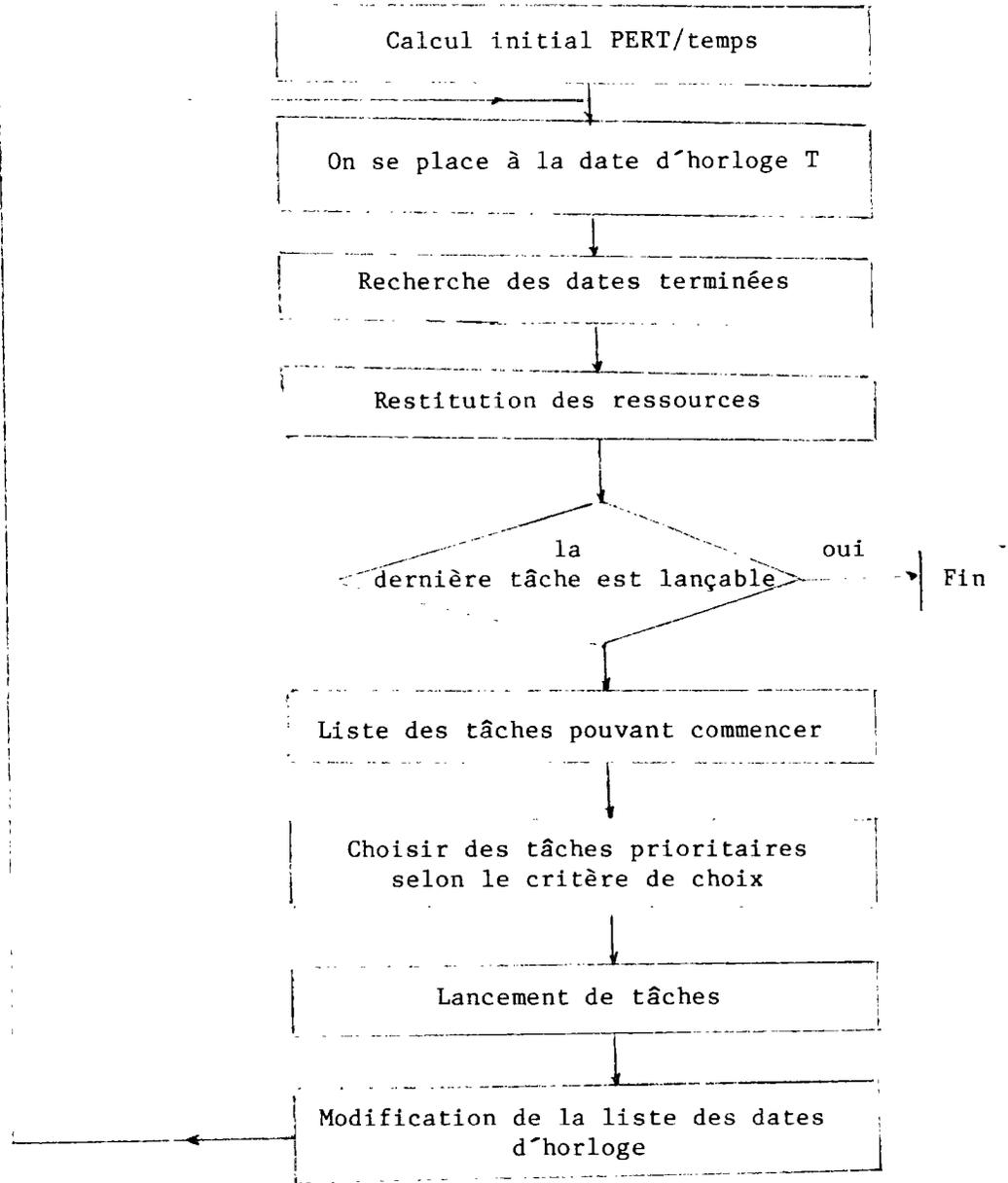


fig. 4.6 : Organigramme de la méthode chronologique

3.2.2 Les méthodes non chronologiques

Au contraire des méthodes chronologiques, l'idée principale des méthodes non chronologiques n'est pas de fixer un temps t a priori, mais à partir des tâches déjà ordonnancées, de déterminer une tâche prioritaire qui sera lancée. Sa date de lancement est calculée en fonction de l'état des courbes de charge à ce stade de l'algorithme. Dès lors, il n'existe pas nécessairement un cheminement progressif dans le temps, ce qui justifie le nom de ces méthodes.

Pour l'algorithme détaillé de cette méthode, voir (15). La fig. 4.7 donne l'organigramme de cette méthode.

3.2.2.1 Critères d'évaluation du choix des tâches dans le temps

Ces critères peuvent être pour chaque tâche j

- . temporels : sa marge totale, sa durée maximale ou minimale, ses dates au plus tôt ou au plus tard,
- . de ressources : son utilisation de ressources maximale, ...
- . de structure : le nombre maximum de tâches de sa fermeture transitive, ...

3.2.2.2 Comparaison des différents critères de choix des tâches

DAVIS-PATTERSON (10) ont effectuée une comparaison entre les méthodes heuristiques avec 83 projets de la taille 20-27 tâches. On trouve que les critères temporels donnent de meilleurs résultats que ceux de ressources. On précise cependant qu'aucun critère ne donne constamment de meilleurs résultats que les autres.

Le tableau de l'Annexe 3 résume les résultats de cette étude.

MANGIN (15) après avoir dégagé 3 critères :

- . $DO(j)$ (compte tenu de la limitation de ressources)
- . $UR(j) = \text{durée}(j) + \sum_k \text{IR}(j)$
- avec $IR(j) =$ nombre de tâches de la fermeture transitive Γ_j^+ de la tâche j
- . $MT(j) / IR(j)$

conclut (page 204) à propos du choix d'un critère : "Il n'est de toute façon pas évident du tout qu'un tel choix soit souhaitable pour la simple raison qu'il n'est jamais possible d'affirmer, même avec un échantillon de taille importante, qu'un critère de choix donné fournira toujours de bons résultats."

3.2.2.3 Choix de la méthode

Pour la résolution des problèmes de limitation de cumul, la plupart des auteurs, notamment GORDON (21), sont d'accord pour dire que globalement la méthode non chronologique apporte des améliorations sensibles par rapport à la méthode chronologique. Nous avons donc retenu cette méthode.

On envisagera la simulation, en utilisant plusieurs critères pour déterminer les meilleurs résultats. Nous considérerons comme critères la marge totale, l'intensité maximale et la durée minimale des tâches.

3.3 Méthodes arborescentes

Le fait qu'il y ait peu de chance pour que les problèmes NP-complets soient résolus en un temps polynomial (ce qui est le cas des problèmes de limitation de cumuls) a incité à étudier d'autres approches pour résoudre ces problèmes : les algorithmes d'énumération. Ce sont des techniques d'énumération implicites basées sur une exploration par séparation et évaluation ("branch and bound"), séparation par évaluation séquentielle (S.E.S.), séparation par évaluation progressive (S.E.P.).

Ces méthodes consistent schématiquement à décrire l'ensemble de solutions sous la forme d'une arborescence et à parcourir cette arborescence sans oublier aucun noeud. Alors, la notion d'évaluation par défaut permet, lorsque l'on connaît déjà une bonne solution réalisable, de parcourir implicitement des branches entières de l'arborescence sans en examiner chacun des noeuds.

Ces méthodes ont été largement décrites par de nombreux auteurs : B. ROY (1), BALAS (43), GORENSTEIN (44) et MANGIN (15). Elles sont exposées en Annexe 2.

3.4 Autres méthodes

Nous citerons quelques études parmi les plus récentes concernant le nivellement, appliquées plus ou moins à des cas particuliers, qui sont surtout destinées aux problèmes d'ateliers, mais dont la démarche peut servir à l'application des ordonnancements dans le domaine du bâtiment.

P. NEPOMIASTICHY (13) propose une méthode qui consiste à "oublier" la contrainte cumulative et à résoudre un problème de programmation linéaire en minimisant un coût supplémentaire de violation de cette contrainte.

LES PROBLEMES CUMULATIFS

J. AGARD et G. GAMOT (16) exposent une méthode d'ordonnement pour standardiser les visites d'avions d'Air France. cet ordonnancement doit respecter un niveau maximum d'effectif spécialisé. La liste d'appel est constituée par un classement de dates au plus tard croissant. Dans cet article l'intensité a été considérée comme pouvant varier. Il faut signaler que dans de tels cas, c'est la notion même de chemin critique qui est remise en cause. Dans le domaine du BTP, une telle hypothèse n'est, en général, pas admise pour la bonne organisation de travaux.

J. ERSHER, G. FONIA et F. ROUBELET (12) modélisent le problème par un graphe potentiels-tâches non conjonctif. Les conflits pour l'utilisation des moyens introduisent un aspect combinatoire dans le problème. Cet aspect apparaissant dans les groupes d'arcs non conjonctifs du graphe, une méthode d'analyse s'appuyant sur la transformation du graphe est proposée.

.. Lissage

4.1 Critère d'évaluation de lissage

Parmi les critères d'évaluation de lissage, on peut citer :

a) Critère E ou écart total

Ce critère est retenu par la majorité des méthodes, notamment par (3)

$$E = \sum_{i=1}^n |I(k) - I_m|$$

b) Critère ξ^2 ou somme des carrés des écarts

Ce critère est notamment utilisé par BURGESS-KILLEBREW (8)

$$\xi^2 = \sum_{i=1}^{DEL} (\bar{X}_i - X_i)^2$$

où

DEL est le délai initial, celui-ci étant découpé en tranches de temps unités

\bar{X}_i est le niveau de charge désiré par la tranche de temps i

X_i est la charge obtenue dans la tranche i pour un graphe donné.

c) Critère LA ou longueur absolue

Ce critère retenu par MASON MOODIE (9) représente la somme absolue des décrochements se produisant sur la courbe de charge.

Exemple d'illustration : soit une courbe de charge donnée par la fig. 4.8

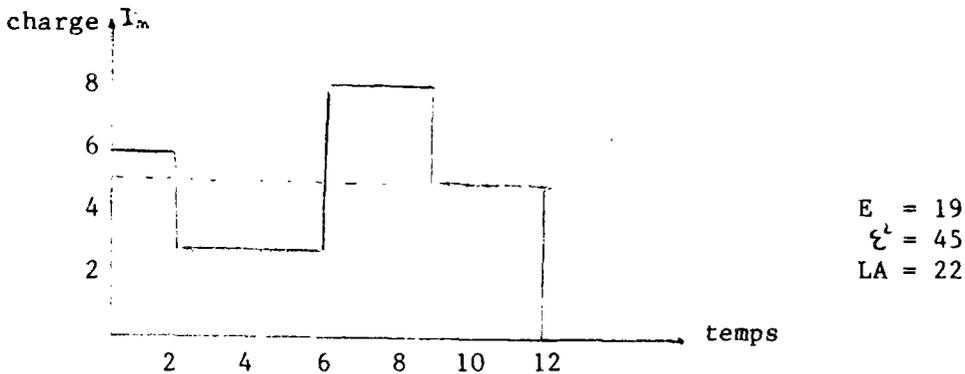


fig. 4.8

4.2 Exemples de méthodes heuristiques de lissage

- Méthode de BURGESS-KILLEBREW (8)

Le principe de base de cette méthode est de partir des dates au plus tôt (planning calé à gauche) et de déplacer vers la droite (c'est à dire leurs dates au plus tard) les tâches qui bloquent les autres.

- Méthode TULIP (35)

Contrairement à la méthode précédente, cette méthode travaille sur un diagramme qui évolue.

4.3 Méthode de MOLOS (Méthode opérationnelle de lissage par optimisations successives)

4.3.1 Principe

Cette méthode débute par un vecteur charge plein : la fonction charge au plus tôt. Le principe de cette méthode est de combler les trous (créneaux) de la courbe charge au plus tôt à partir de la droite en plaçant au milieu les activités efficientes*.

L'algorithme de la méthode MOLOS tel que donné dans (3) est reproduit en page 43.

* Une activité est dite efficiente si, en jouant sur sa marge totale, il est possible de combler entièrement ou en partie un créneau.

3.2 Analyse et critique de cette méthode

La partie (3) de l'algorithme concernant la recherche de (TR) (créneau) nécessite l'application de bons algorithmes (linéaires) étant donné la fréquence (des dizaines, voir des centaines de fois) ceci, bien évidemment, dans le but de diminuer le temps de calcul.

Nous nous sommes intéressés pour cela à certaines notions récentes dont nous donnons quelques définitions et résultats.

4.3.3 Notions de créneaux (5), (5A)

Dans ce paragraphe, les nombres sont entiers.

Soit : $[1, n]$: l'intervalle entier de 1 à n
 n, p : paramètres supposés donnés, vérifiant l'inégalité $p \leq n$

On considère des suites de u de $n + 2$ termes telles que :

$$u(0) = u(n+1) = \infty \text{ et } u(i) \in \mathbb{N} \text{ pour } 1 \leq i \leq n$$

$$u \text{ sera représenté sous la forme } u = (\infty, u(1), u(2), \dots, u(n), \infty)$$

On appellera créneau un triplet d'entiers, noté $[d, h, f[$, tel que :

- 1°) $d \in [1, n]$ et $f \in [d + 1, n + 1]$
- 2°) $h = \max u(i)$ pour $i \in [d, f - 1]$ et tel que : $h < \min \{u(d-1), u(f)\}$
 - . d, h, f sont le début (inclus), la hauteur et la fin (exclue) des créneaux $[d, h, f[$
 - . $[d, f - 1]$ et $[f - d]$ sont l'intervalle et la longueur du créneau $[d, h, f[$

Exemple : Soit $u = (\infty, 2, 3, 1, 1, 0, \infty)$. On peut schématiser ce vecteur par la fig. 4.9

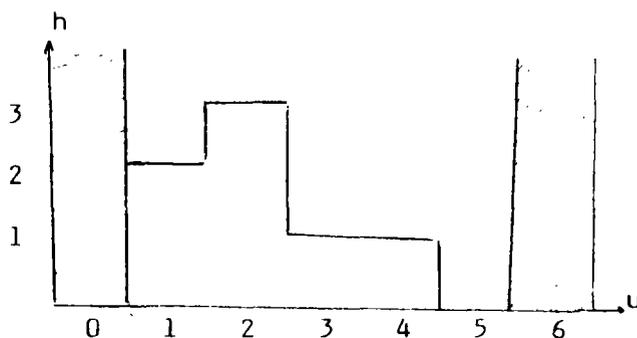


fig. 5.9

Les créneaux de u sont : $[1, 2, 2[$, $[1, 3, 6[$, $[3, 1, 6[$, $[5, 0, 6[$

4.3.4 Recherche de créneaux

Le vecteur U de la charge étant déterminé, nous nous sommes intéressés à la recherche de tous les créneaux, quelle que soit leur longueur pour les combler par la suite, dans le souci de rendre plus performante cette méthode, qui a été modifiée comme indiqué en page 44.

L'algorithme utilisé pour la détermination de tous les créneaux est l'algorithme de DOSTANI, fondé sur la notion des piles (4) que nous exposons ci-dessous.

4.3.5 Algorithme de DOSTANI

On définit deux piles D et H pour recevoir les créneaux ouverts*, et DP , FP , HP , des vecteurs mémorisant les début, fin et hauteur de tous les créneaux de U .

A chaque étape I_k t_j $U_{i_k} = W_k^{**}$, on mémorise tous les CR de fin i_k et encore ouverts dans D et H , dans DP , FP , HP .

Comme $U(n+1) = \varnothing$, on est sûr qu'à la fin de cette étape, tous les CR seront fermés.

Initialisation :

Déclarer dp , fp , hp
 nc : indicateur du dernier CR mémorisé en dp , fp , hp
 Initialement $nc = 0$

* Si j est le k -ième terme t_j $u(j) > U(j-1)$, on définira W_k de la façon suivante : $W_k = u_j$

** Un triplet (d, h, \cdot) avec $u(d) \leq h$ est un créneau de fin inconnue. Il sera appelé créneau ouvert.

LES PROBLEMES CUMULATIFS

- 1°) $i \leftarrow 0, q \leftarrow 1, d(q) \leftarrow 0, h(q) \leftarrow \infty, nc \leftarrow 0$
- 2°) $i = i + 1$
 Si $i > n + 1$ alors fin
 Si $u(i) = h(q)$, i n'est ni début, ni fin, aller en 2°
 sinon : Si $u(i) < h(q)$ alors aller en 3°
 Si $u(i) > h(q)$ alors aller en 4°
- 3°) $q \leftarrow q + 1, d(q) \leftarrow i, h(q) = u(i)$ aller en 2°
- 4°) $nc \leftarrow nc + 1, dp(nc) = d(q), fp(nc) = i, hp(nc) = h(q)$
 Si $u(i) < h(q - 1)$ alors aller en 5°
 sinon $q \leftarrow q - 1$ aller en 2°
- 5°) $h(q) = u(i)$ aller en 2°

La complexité de cet algorithme est linéaire $O(n)$

Méthode MOLOS : Algorithme initial

- 1°) Calculer la fonction initiale de charge au plus tôt (CH)

En déterminer les caractéristiques générales

- . intensité moyenne $\rightarrow IG$
- . écart par rapport à $IG \rightarrow EG$
- . intervalle de fluctuation $\rightarrow FG$

- 2°) Initialiser $I = 1$

- 3°) Chercher à partir de la fin du diagramme le trou $(Tr)_i$

En déterminer les caractéristiques $(BG)_i, (FD)_i, (BD)_i$

- $(Tr)_i$ existe aller à la directive 4°
- $(Tr)_i$ n'existe pas aller à la directive 8°

- 4°) Examiner s'il existe des activités j efficientes

Si oui aller à la directive 5°
 Si non faire $i = i + 1$ et aller à 3°

- 5°) Calculer les caractéristiques du champ d'action de $(TR)_i$

- . $LI = \min_i ((DO)_i - \mathcal{L}^{**})$
- . $LS = \max_k ((FA)_k - \quad), k = 1, n$
- . $(I)_i, (E)_i, (F)_i$

LES PROBLEMES CUMULATIFS

6°) Essayer les activités efficientes, ce qui conduit à déterminer pour chacune d'elles (j)

- . la nouvelle date au plus tôt à lui imposer
- . $(DO)_j = \min((FA)_j, (BD)_j + \mathcal{L}) - ((\Delta) *** - 1)$
- . La fonction de charge correspondante, ainsi que les caractéristiques $(E)_j$ et $(F)_j$ du champ d'action.

7°) Examiner s'il existe une activité rentable telle qu'on ait : $(E)_j < (E)_i$ ou, en cas d'égalité, si $(F)_j < (F)_i$

Si oui, vérifier qu'elle n'est pas encore plus rentable pour un autre trou - aller à la directive 2°

8°) Le lissage est terminé

Calculer les caractéristiques EG^* et FG^* de la fonction de charge lissée

Déterminer les améliorations $EG - EG^*$ et $FG - FG^*$ obtenues

4.3.6 Méthode MOLOS : Algorithme modifié

1°) Calculer le vecteur de charge u au plus tôt

Déterminer les caractéristiques générales E, I_{wv} , FG

2°) Appliquer l'algorithme de DOSTANI pour la recherche de tous les créneaux $(CR)_i \in [d_i, h_i, f_i]$

Soit k , le nombre de ces créneaux

Si $k \neq 0$ aller en 3°

sinon aller en 7°

3°) Examiner pour tous les $(CR)_i$, $i = 1, 2, \dots, k$, s'il existe des activités efficientes j

Si oui, soit k_i le nombre de créneaux admettant des activités efficientes, aller en 4°

sinon aller en 7°

* intervalle de fluctuation FG : indique la différence existant entre les valeurs extrêmes que prend la distribution dans un intervalle de variation (LI,LS) : $FG = \max I(k)_{k=1,LS} - \min I(k)_{k=1,LS}$

** paramètre de translation \mathcal{L} : indique le décalage existant entre la première unité de temps du calendrier de référence de l'ensemble des activités et la plus petite date au plus tôt de l'activité à lisser :

$\mathcal{L} = \min (DO)_i - 1, i = 1, n$

*** $(\Delta)_j$ représente ici la durée de la tâche j

LES PROBLEMES CUMULATIFS

- 4°) Calculer pour chaque (CR) admettant des activités efficientes j ($j = 1, 2, \dots, K_L$)

$$LI = \min (DO)_j - \mathcal{L}$$

$$LS = \max (FA)_k, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (n = \text{nombre total des activités à lisser})$$

- 5°) Essayer les activités efficientes pour chaque (CR) $_i$, $i = 1, 2, \dots, K_L$, ce qui conduit pour chacune d'elles (j) à calculer :

- . $(DO)_j = \min ((FA)_j, f_L + \mathcal{L}) - (\Delta_j - 1)$
- . les nouvelles dates de descendance au plus tôt
- . le nouveau vecteur charge correspondant $(u)_j$ ainsi que les caractéristiques $(E)_j$ et $F(j)$ du champ d'action

- 6°) Examiner s'il existe une activité j telle qu'on ait

$$(E)_j < E \text{ ou, en cas d'égalité, si } F_j < FG$$

si non aller en 7°

- si oui
- . fixer la date de début de la tâche j comme calculée dans 5°
 - . recalculer les dates de descendance au plus tôt
 - . aller en 1°

- 7°) Fin de l'algorithme

5. Problèmes de lissage et de nivellement

Les résultats de lissage avec $T_v = T_c$, peuvent être améliorés si l'on prend $T_v \gg T_c$. L'algorithme de MASON-MOODIE (9) conçu pour résoudre le problème de lissage prend en compte l'allongement du délai du projet. MOUN KYON KIM (11) a étudié le problème de lissage et de nivellement en utilisant cet algorithme et en y ajoutant la contrainte de limitation de ressource.

La méthode consiste à affecter des coûts à l'augmentation du délai du projet ainsi qu'aux fluctuations de la courbe de charge de la ressource limitée, objet du lissage. L'objectif est alors de déterminer l'ordonnancement ayant le coût marginal minimal (cf. chapitre 5). Pour illustrer cette approche, considérons les exemples des figures 4.11a et 4.11b.

Soit C_1 = le coût d'augmentation d'une unité de ressource
 C_2 = le coût de diminution d'une unité de ressource
 C_3 = le coût d'augmentation d'une unité de délai.

Supposons que $C_1 = 100$, $C_2 = 150$, $C_3 = 300$

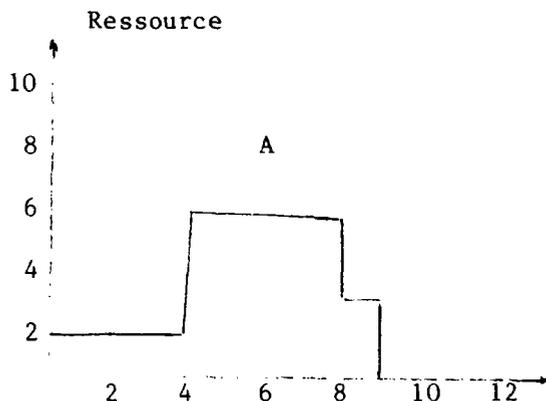


fig. 4.11a

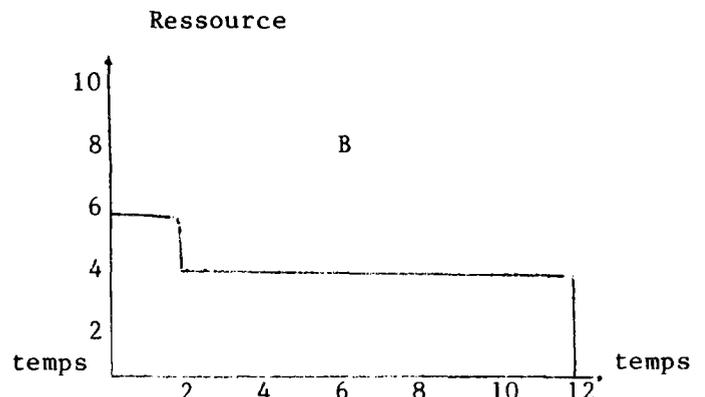


FIG. 4.11b

Le coût marginal de l'ordonnancement A sera :

$$CA = 4 \times 100 + 3 \times 150 = 850$$

Le coût marginal de l'ordonnancement B sera :

$$CB = 2 \times 150 + 3 \times 300 = 1\ 200$$

LES PROBLEMES CUMULATIFS

Donc, l'ordonnement A sera considéré comme meilleur que l'ordonnement B.

le coût marginal minimum est déterminé par une méthode exacte (méthode SEP), mais le temps de calcul demandé est alors très important : 30 minutes sont nécessaires à l'IRIS 80 pour un projet de 30 tâches. D'autres méthodes dont l'efficacité n'a pu être vérifiée sur des projets dépassant 30 tâches ont été essayées.

6. Problèmes d'atelier

Ces problèmes sont d'un intérêt mineur en bâtiment, mais des entreprises disposant d'ateliers intégrés plus ou moins importants peuvent les rencontrer. Ces problèmes sont exposés brièvement en Annexe 4.

CHAPITRE V

Problème d'optimisation économique

PROBLEME D'OPTIMISATION ECONOMIQUE

Les résultats obtenus lors du traitement du problème central peuvent ne pas convenir au réalisateur. Il peut trouver en effet que le délai de réalisation du projet est trop long ou que le budget qui lui est alloué est trop important. Il s'agit donc d'étudier les voies et les moyens pour déterminer des ordonnancements satisfaisant à ces exigences.

Le premier aspect du problème consiste alors à accélérer la réalisation du projet, en y mettant le prix pour diminuer le temps d'exécution de certaines tâches (par le biais d'heures supplémentaires, de moyens en personnel et outillages supplémentaires, qualification accrue du personnel). Cette accélération doit évidemment être réalisée au moindre coût.

Le deuxième aspect, au contraire, consistera à allonger la durée de certaines tâches en vue de diminuer leur coût de réalisation. La fonction durée-coût d'une tâche est à la base de toutes les méthodes existantes pour les problèmes d'optimisation économique concernant les aspects évoqués.

1) Coût d'une tâche en fonction de sa durée

En réalité, il n'y a pas de définition universelle du coût d'une tâche, tout dépend du type de contrôle budgétaire choisi, lequel est du reste tributaire de la plus ou moins grande décomposition du projet en tâches élémentaires.

Considérons en effet une tâche i consommant des matériaux de construction. Ces dépenses feront ou non partie du coût de la tâche i , selon l'optique retenue. Que la livraison et le paiement de ces matières soient indépendantes ou non de la date de réalisation de cette tâche i , on peut considérer qu'il s'agit là d'une dépense sur laquelle il n'y a pas lieu d'exercer de contrôle, et le coût de ces matériaux vient grossir la masse des coûts fixés.

Une fois défini le coût d'une tâche, se pose celui de la définition de l'échéancier qui lui correspond, et qui va de la date de début de la tâche à la date de fin. Cet échéancier est en grande partie conventionnel, en ce sens qu'il ne correspondra presque jamais à celui des décaissements réels (personnel payé au mois, par exemple). Ceci n'empêchera pas de pouvoir rattacher la dépense à une tâche, pour une période donnée, et ce à des fins de contrôle. On retient le plus souvent de répartir uniformément le coût de la tâche sur la durée de celle-ci, ce qui correspond à la réalité si la consommation des facteurs productifs par la tâche considérée est régulière pendant l'exécution de cette tâche. Dès lors, pour un ordonnancement fixé, la consommation budgétaire journalière se calcule en cumulant chaque jour le coût quotidien des tâches en cours d'exécution ce jour-là.

Illustrons ce point en supposant que les coûts que l'on désire contrôler soient les suivants (tabl. 5.1)

PROBLEME D'OPTIMISATION ECONOMIQUE

Tâche	Durée	Coût de la tâche	Coût quotidien	Début au plus tôt	Début au plus tard
A	5	10	2	5	5
B	4	4	1	9	9
C	2	4	2	11	14
D	2	2	1	13	16
E	6	6	1	18	18

tabl. 5.1 Durée et coût des tâches

Nous obtenons alors :

Dates		ORDONNANCEMENT AU PLUS TOT																		
		6	8	10	12	14	16	18	20	22										
t	A	2	2	2	2	2														
â	B				1	1	1	1												
c	C						2	2												
h	D								1	1										
e	E											1	1	1	1	1	1	1	1	1
\sum_i		2	2	2	2	3	1	3	3	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
\sum_t	\sum_i	2	4	6	8	11	12	15	18	19	20		21	22	23	24	25	26		

De la même manière, on obtiendra la consommation budgétaire pour un ordonnancement au plus tard. La variation du coût en fonction de la durée d'une tâche telle que retenue par la plupart des auteurs notamment R. FAURE, C. ROUCAIVOL, VINCENT G. (17) est donnée par la fig. 5.1.

PROBLEME D'OPTIMISATION ECONOMIQUE

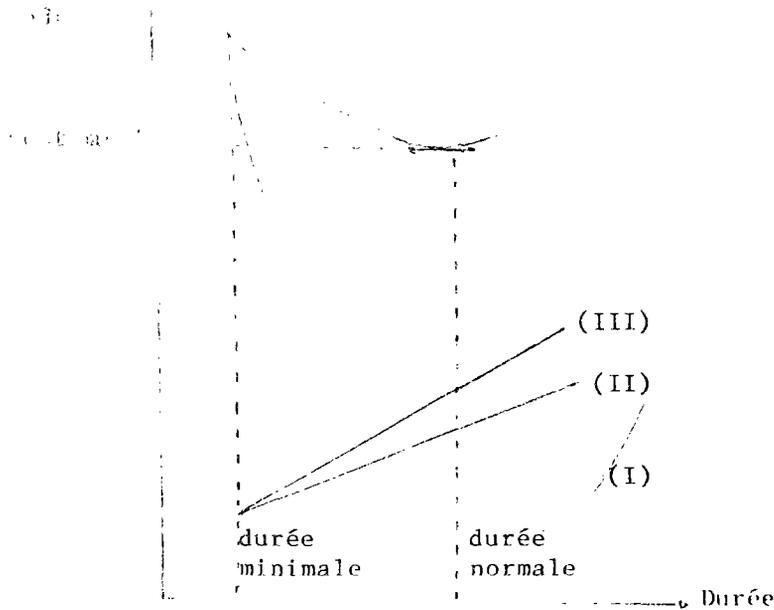
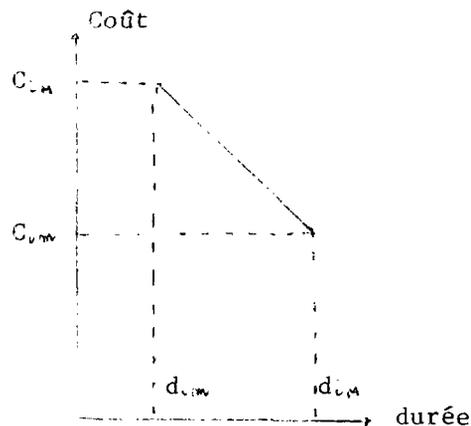


fig. 5.1 Evolution durée-coût d'une tâche

La courbe (I) représente les coûts directs : elle montre que réaliser une tâche en un temps minimum de temps revient très cher et que prolonger son délai au delà d'une certaine valeur revient également cher. L'optimum se situe entre ces limites.

La courbe (II) représente les coûts indirects et la courbe (III) le manque à gagner pour retard. Si l'on ajoute les ordonnées de (I), (II) et (III), on trouve une fonction du temps qui passe par un minimum représentant le coût de l'opération envisagée, le temps correspondant à ce minimum sera appelé "durée normale" de la tâche.



Si l'on fait correspondre à la durée minimale $d_{i,w}$ de la tâche i le coût maximal $C_{i,n}$ de la tâche et à la durée normale $d_{i,n}$ le coût minimal $C_{i,m}$, on peut faire l'approximation consistant à joindre ces deux points, supposés connus, par une droite de pente négative :

$$\delta_i = \frac{C_{i,m} - C_{i,n}}{d_{i,n} - d_{i,w}}$$

fig. 5.2 Approximation de la variation de la durée d'une tâche en fonction de son coût

PROBLEME D'OPTIMISATION ECONOMIQUE

δ_i représente la diminution unitaire du coût par allongement du délai ou coût marginal de la tâche i .

En réalité, et compte tenu de ce qui a été déjà dit et des discussions que nous avons eues avec divers responsables d'ordonnancement d'entreprises du bâtiment, il est très difficile de connaître les variations des coûts en fonction de la durée de l'ensemble des tâches constituant le projet. Ceci vient essentiellement de certaines données plus ou moins "floues" (attribution de ressource, durées, influence de retards ou accélération sur le reste des tâches).

Diverses hypothèses ont cependant été envisagées sur ces fonctions. On peut citer :

- a) fonction concave continue (fig. 5.3a)
- b) fonction ni convexe ni concave (fig. 5.3b)
- c) fonction discrétisée (fig. 5.3c)

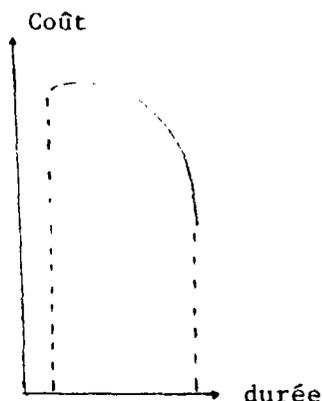


fig. 5.3a Fonction concave continue

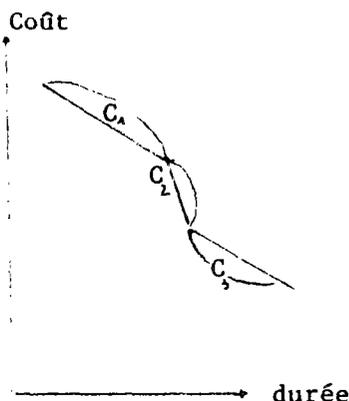


fig. 5.3b Fonction ni concave ni convexe

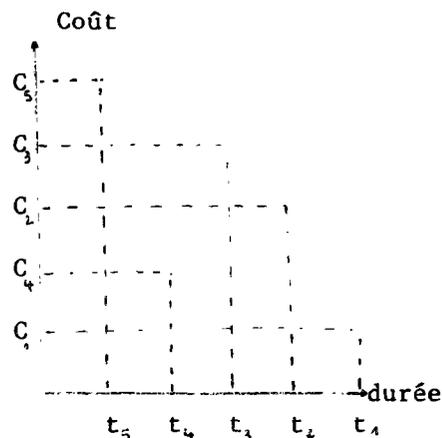


fig. 5.3c Fonction discrétisée

En toute rigueur, chaque tâche peut avoir une fonction durée/coût propre. Les méthodes de calcul d'optimisation économique que nous allons développer ne pouvaient alors être généralisées.

Aussi avons-nous considéré une fonction linéaire pour chaque tâche : ce choix étant le plus réaliste compte tenu de toutes les incertitudes concernant cette fonction.

Ce choix étant fait, nous allons étudier deux aspects d'optimisation économique :

- réduction du coût total d'un projet
- réduction du délai total d'un projet.

PROBLEME D'OPTIMISATION ECONOMIQUE

2.0 Réduction du coût et accélération de la durée d'un projet

La réduction du coût total d'un projet peut se faire sans dépassement du temps critique T_c , elle peut être plus importante si un tel dépassement est admissible.

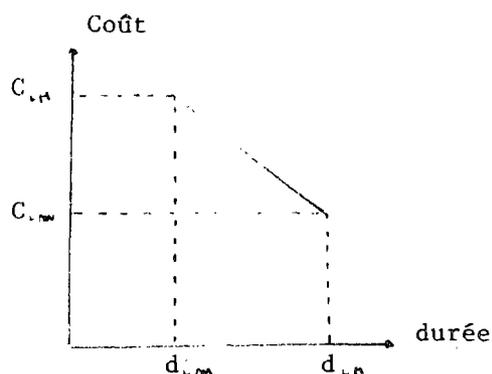
2.1 Diminution du coût total d'un projet

Ce qu'on appelle durée normale d'une tâche est en réalité un temps estimé en fonction des moyens "normalement" mis en oeuvre. Dans la pratique, le responsable du projet peut avoir demandé des estimations de temps en faisant savoir qu'il importait de réaliser rapidement le projet. Dans ces conditions, les responsables des tâches peuvent avoir fourni des temps d'exécution qui incluent, par exemple, des heures supplémentaires. Une fois connues les tâches non critiques, le chef du projet a intérêt à demander aux responsables de ces tâches non critiques si un allongement de la durée d'exécution de ces tâches (dans la limite de leurs marges libres, ou même de leurs marges totales) permet des économies. Il faut remarquer, cependant, que cette procédure risque d'accroître sensiblement le nombre de tâches critiques et donc d'accroître les risques de non respect du délai de réalisation minimal T_m du projet.

2.2 Accélération au moindre coût de la réalisation d'un projet

2.2.1 Présentation du problème

On s'intéresse ici à des problèmes comportant seulement des contraintes potentielles. La durée des tâches n'est pas fixée mais fonction linéaire décroissante de leur coût.



En reprenant les notations précédentes, à chaque tâche i est associée sa durée minimale $d_{i,m}$, sa durée maximale $d_{i,n}$ et l'augmentation de son coût k_i lorsqu'on diminue sa durée d'une unité de temps dans l'intervalle $(d_{i,m}, d_{i,n})$

Si la tâche i dure d_i , son coût sera :

$$C_i = C_{i,n} - (d_i - d_{i,m})k_i$$

PROBLEME D'OPTIMISATION ECONOMIQUE

Le problème consiste à trouver parmi les ordonnancements de durée un ordonnancement de coût global minimal (λ pouvant être éventuellement un paramètre).

2.2.2 Formulation

Désignons par x_i la date de départ du projet,
 x_m la date d'achèvement,
 x_i la date de début au plus tôt de la tâche i

Le problème se formule à l'aide du programme linéaire (P) :

$$(P) \quad \begin{cases} x_m - x_i \leq \lambda \\ d_{i,m} < d_i < d_{i,M} \\ x_i - x_j + d_i \leq 0 \\ (\max)_\lambda = \sum_i r_i d_i \end{cases}$$

Pour traiter ce programme linéaire, FULKERSON a ramené par dualité ce problème à un problème de flot maximal à coût minimal. Pour une description détaillée, voir (6).

Le cas que nous avons jugé le plus intéressant est de savoir de combien d'unités de temps on peut réduire le délai global du projet en équilibrant le coût supplémentaire et les recettes qui découlent de cette accélération ($\lambda \leq T_x$). Il y a là la notion de profit que nous allons introduire.

2.2.3 Notion de profit

La réduction du délai d'un projet conduit comme on vient de le voir à des dépenses supplémentaires, mais elle entraîne également des économies ou recettes supplémentaires (libération de matériel, de terrain, primes, ou le fait de limiter sinon d'éviter des pénalités de retard).

Il paraît alors logique d'essayer de mettre en balance :

- la recette totale (RT) qu'on supposera varier de façon linéaire, déterminant une recette totale marginale (RT)' constante
- et le coût total (KT) définissant lui-même un coût total marginal (KT)' du projet.

A partir de ces notions, E. MAUREL, D. ROUX et D. DUPONT (3) définissent le profil total (PT) et le profil marginal (PT)' comme les différences respectives entre les recettes totales (ou marginales) et le coût total (ou marginal).

PROBLEME D'OPTIMISATION ECONOMIQUE

La stratégie à appliquer dans la recherche d'une optimisation du délai d'un projet peut alors s'énoncer de deux manières, selon qu'on fait appel :

- à l'analyse globale (fig. 5.4a) et, dans ce cas, il s'agit de maximaliser le profit total

$$PT = \text{MAX}(RT - KT)$$

- ou à l'analyse marginale (fig. 5.4b) et, dans ce cas, il s'agit de déterminer le point à profit marginal nul

$$(PT)' = (RT)' - (KT)' = 0$$

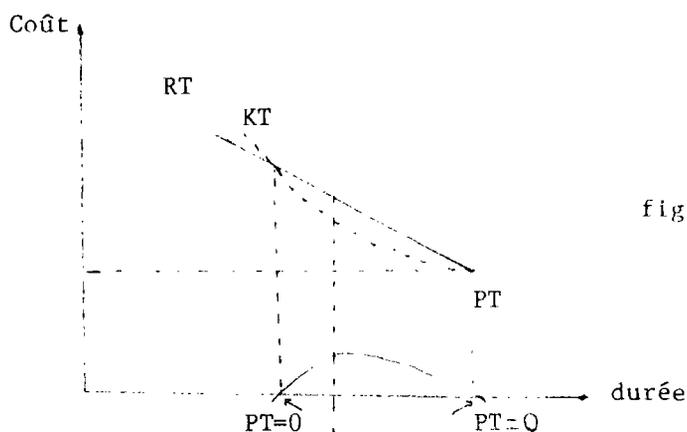


fig. 5.4a Analyse globale

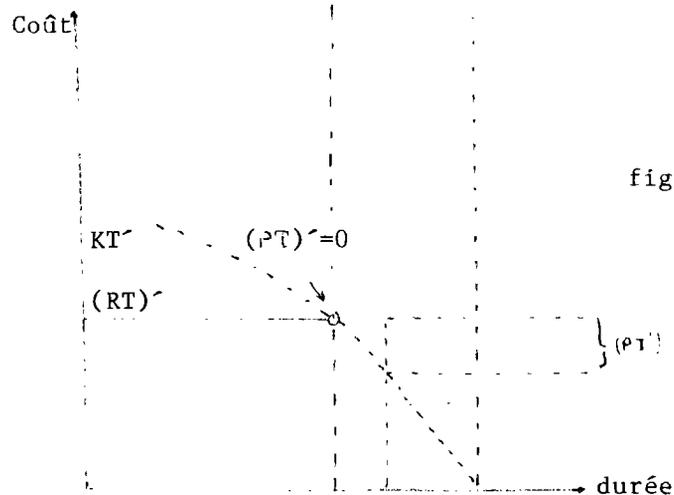


fig. 5.4b Analyse marginale

PROBLEME D'OPTIMISATION ECONOMIQUE

Nous pouvons donc appliquer le principe du problème du flot maximal à coût minimal du paragraphe 2.2.1, en tenant compte des données réelles que sont les profits. On comprend facilement d'autre part, que la réduction de la durée d'un projet passe nécessairement par l'accélération des activités critiques (accélérer les autres serait en pure perte). On peut alors appliquer l'algorithme préconisé par E. MAUREL, D. ROUX, D. DUPONT (3).

Algorithme d'optimisation économique

- 1°) Rechercher le graphe réduit constitué par les chemins critiques et le mettre sous sa forme primale⁽¹⁾
- 2°) Appliquer à ce graphe réduit, aux arcs desquels sont affectés les coûts marginaux de réduction de durée des activités critiques, le procédé de l'algorithme de FORD FULKERSON⁽²⁾ livre le flot maximal
- 3°) Déterminer la coupe minimale⁽³⁾ associée à ce flot maximal : elle indique les activités à accélérer
- 4°) Faire la somme des coûts marginaux : $\mu(K)^-$ des activités i à accélérer pour obtenir le coût marginal $(KT)^-$ correspondant à la réduction d'une unité de délai global du projet
- 5°) Calculer le profit marginal $(PT)^-$ qui découle
 - Si $(PT)^- > 0$
 - . procéder aux réductions de durée
 - . recalculer les dates
 - . se brancher en 1°
 - Si $(PT)^- < 0$
 - . Il n'est pas nécessaire de rechercher un nouveau raccourcissement de délai global de réalisation du projet, l'optimum étant déjà atteint par l'itération précédente où le profit total est maximal pour un délai minimal.

Remarque :

(1) La représentation primale d'un graphe correspond à la représentation PERT-étape

(2) Une nouvelle procédure de calcul de flot optimal mise au point par J. SIMION (24) est plus avantageuse au point de vue programmation. Son résumé est exposé à la page 56.

(3) La coupe minimale ne peut rencontrer par définition que les arcs saturés

PROBLEME D'OPTIMISATION ECONOMIQUE

Calcul du flot optimal dans un réseau antisymétrique

par la méthode de J. SIMION

1) Introduction

Soit $G(P,U)$ un graphe fini sans boucle, où on associe à chaque arc U_{ij} , qui joint les sommets P_i et P_j un nombre $C_{ij} \geq 0$, nommé capacité de l'arc U_{ij} , et où il n'existe qu'un seul point d'entrée P_1 et un seul point de sortie P_n .

Pour trouver un flux optimal, il faut déterminer les nombres X_{ij} ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n-1$) de manière que :

$$(1) \quad \varphi = \sum_{i,j} X_{ij} \text{ soit maximal}$$

$$(2) \quad \sum_j (X_{ij} - X_{ji}) = 0, \quad (i = 2, 3, \dots, n-1)$$

$$(3) \quad 0 \leq X_{ij} \leq C_{ij}$$

Une coupe est un ensemble d'arcs $S \subseteq U$ de manière que, pour chaque chemin α qui joint P_1 à P_n , on ait : (3) $S \cap \alpha = \emptyset$

Si l'on note $C(S) = \sum_{U_{ij} \in S} C_{ij}$, la capacité de la coupe S , on a évidemment $C(S) \geq \varphi$, conformément à la relation (3)

Par conséquent, si l'on trouve un flot et une coupe de manière que $\varphi = C(S)$, alors le flux est optimal. C'est l'idée qui sera utilisée dans la procédure.

2) La procédure

On suppose que le réseau est antisymétrique

Si $U_{ij} \in U$, alors P_i est l'extrémité initiale de l'arc U_{ij} et P_j l'extrémité terminale.

Soit $C = \{C_{ij} \mid i, j = 1, 2, \dots, n\}$ la matrice de capacité. Si U_{ij} n'existe pas, alors $C_{ij} = 0$. Soit $A = C$. On transforme la matrice A jusqu'à obtenir le flot optimal. Pour cela, on utilise deux vecteurs : $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ et $v = (v_1, v_2, \dots, v_n)$.

PROBLEME D'OPTIMISATION ECONOMIQUE

Soit $u_i = 0$ et $V_i \gg \max C_{ij}$. Ainsi, on a marqué la somme P_i . On marque les autres sommets comme suit : on sélectionne un sommet P_j , qui a été marqué et n'a pas été choisi antérieurement, et l'on marque les sommets qui sont adjacents au sommet P_i pour lesquels $a_{ij} \neq 0$ de manière suivante :

$$U_j = 1, \quad U_i = \min(V_i, |a_{ij}|)$$

On continue jusqu'à marquer la sortie P_n . Si l'on ne peut pas marquer la sortie, la procédure est terminée. Si la sortie a été marquée, nous avons trouvé une chaîne \mathcal{L} qui joint P_1 à P_n . On transforme les quantités pour lesquelles $U_{ij} \in \mathcal{L}$ de la manière suivante :

• Si $a_{ij} \geq 0$, alors :

$$(4) \quad a_{ij} = a_{ij} - V_n, \quad a_{jk} = a_{jk} - V_n$$

• Si $a_{ij} \leq 0$ alors :

$$(5) \quad a_{ij} = a_{ij} + V_n, \quad a_{jk} = a_{jk} + V_n$$

Puis, on continue à appliquer la procédure à la matrice ainsi obtenue. Le nombre d'itérations est évidemment fini, car $V_n > 0$

Pour plus de détails, le lecteur pourra consulter l'article de J. SIMION (45).

Le schéma logique est donné par la fig. 5.5.

PROBLEME D'OPTIMISATION ECONOMIQUE

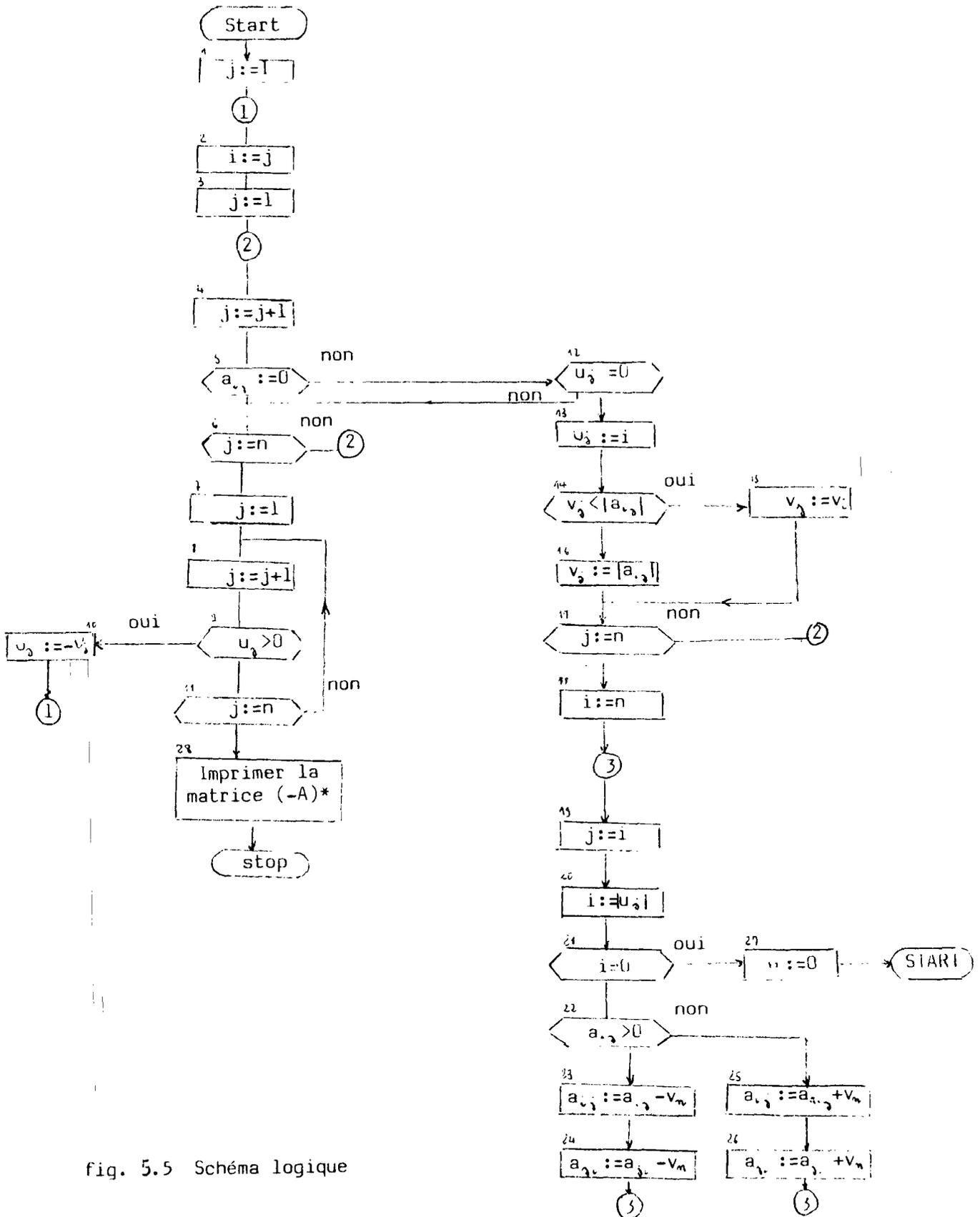


fig. 5.5 Schéma logique

PROBLEME D'OPTIMISATION ECONOMIQUE

Les blocs 1-17 permettent de chercher une chaîne qui joigne l'entrée à la sortie

Les blocs 18-26 réalisent les transformations (4) et (5)

Le bloc 27 fait $u = 0$ et renvoie à la recherche d'une nouvelle chaîne

Le dernier bloc 28 donne l'impression du résultat.

Les éléments positifs de la matrice imprimée représentent le flot maximal.

P A R T I E B

Vers un logiciel à l'usage des PME

CHAPITRE VI

Enquêtes auprès des entreprises :
mise en évidence des pratiques et des besoins

ENQUETES AUPRES DES ENTREPRISES

1. Nécessité de prendre connaissance des objectifs et des pratiques d'ordonnancement dans les entreprises

Les méthodes d'ordonnancement que nous venons d'étudier concernent les problèmes fondamentaux, mais la réalisation de projets ne consiste pas seulement à l'application de telles méthodes. Ce sont, en fait, les problèmes de gestion de chantiers, selon l'organisation de l'entreprise, qui déterminent les méthodes à utiliser.

Ces problèmes sont nombreux; ils sont d'ordre technique (actualisation de projets, contraintes internes ou extérieures aux projets) économiques (optimisation de ressources), financiers (contrôle budgétaire, paiements mensuels,...).

Il était important de connaître les objectifs attendus des ordonnancements ainsi que la prise en compte de diverses contraintes.

pour avoir des éléments de réponse à ces questions, nous nous sommes rapproché des entreprises et avons mené des enquêtes auprès de celles-ci.

Le bilan de ces enquêtes, compte tenu de celui déjà réalisé, relatif aux méthodes d'ordonnancement existantes, nous permettra de définir le logiciel qu'il convient de réaliser en vue de répondre aux besoins des entreprises, particulièrement les PME.

2. Enquêtes auprès des entreprises

pour pouvoir comparer les pratiques d'ordonnancement existantes dans les entreprises, nous avons défini un questionnaire qui servira de guide à la réalisation de ces enquêtes. les questions contenues dans ce document ont été formulées de manière que les différentes étapes d'un projet soient prises en considération : préparation, réalisation et suivi de chantier.

2.1 Présentation du questionnaire

A) Généralités

Mentionner les activités de l'entreprise et son importance

B) Facteurs influant sur le découpage du projet en tâches élémentaires

Déterminer les motivations du choix du découpage utilisé : sont-ils seulement d'ordre technologique ? si non, quelles sont les autres préoccupations ? Examiner les contraintes qui en résultent, notamment au niveau :

- de la finesse de découpage
- du contrôle de chantier

ainsi qu'au niveau d'autres considérations à recueillir auprès de l'entreprise.

ENQUETES AUPRES DES ENTREPRISES

C) Détermination des caractéristiques des tâches

1) Durée des tâches

Comment est estimée cette durée ? Analyser les rapports entre cette durée et les moyens associés à la réalisation de cette tâche.

2) Types de relations entre tâches

A quels types de contraintes préférez-vous avoir recours ("début-début", "début-fin",...). Préciser les raisons.

3) Ressources utilisées par les tâches

Comment sont déterminées les ressources nécessaires à la réalisation d'une tâche ? Etant donné leur nombre parfois considérable, sont-elles toutes prises en considération ? Sinon, examiner alors comment s'opère la sélection.

4) Codification et libellés des tâches

Etudier les arguments ayant servi au choix du type de codification et des libellés des tâches.

D) Contrôle et suivi de projet

1) Contrôle d'avancement de travaux

Examiner les méthodes de contrôle utilisées.

2) Contrôle d'utilisation de ressources

Etudier :

- les difficultés de passage d'un état de consommation de ressources par ouvrage (selon le marché) à un état de consommation par tâche.
- les documents mis à la disposition du chantier pour enregistrer l'utilisation des ressources
- l'exploitation de ces documents
- l'efficacité d'un tel contrôle et son incidence sur la trésorerie prévue.

E) Recalage de projet

Etudier l'importance des recalages dans la conduite d'un projet et les conditions à réaliser pour assurer son efficacité.

F) Etablissement des situations mensuelles

Etudier - leurs modes d'établissement

- les relations entre leur établissement et le découpage du projet en tâches élémentaires.

ENQUETES AUPRES DES ENTREPRISES

G) Graphiques

Noter les divers graphiques utilisés.

Pour le diagramme GANTT, noter

- les problèmes de la représentation de la succession des tâches
- la représentation des éléments caractéristiques des tâches (durées, marges,...)
- la disposition et le contenu des informations

H) Types de problèmes d'ordonnement traités

Etudier à quels niveaux sont pris en considération d'autres types de problèmes d'ordonnement et leurs formulations.

Il peut s'agir par exemple des problèmes

- de lissage de charge
- de nivellement de charge
- d'optimisation économique, etc..

I) Conclusion

La conclusion fera ressortir les caractéristiques les plus spécifiques de l'entreprise

2.2 Résultats des enquêtes

Nous présenterons les enquêtes, entreprise par entreprise, sans détailler les contraintes spécifiques à chacune. A partir de ces résultats, nous ferons la synthèse de ces contraintes, qui servira de cahier de charge d'ordonnement.

Les enquêtes sont présentées dans l'ordre suivant :

a) entreprise DUMEZ	page 63
b) entreprise TOMMASSINI	page 66
c) entreprise NORD FRANCE	page 69
d) G.M.F.	page 72
e) COTEBA	page 75

ENQUETES AUPRES DES ENTREPRISES

3. Ressources utilisées par les tâches

On détermine pour chaque poste l'ensemble des ressources qui lui sont nécessaires en utilisant les ratios existants relatifs à ces ressources pour une opération donnée. Un programme informatique existe dans ce sens. Connaissant les postes qui constituent une tâche élémentaire, les ressources associées à celle-ci peuvent alors être déterminées.

Il n'y a pas cependant d'établissement de planning de consommation de ressources, car le programme utilisé est indépendant des ordonnancements de travaux.

Une répartition manuelle des heures de personnel est alors établie. Cette répartition n'est pas faite pour les matériaux et matériel.

4. Codification et libellé des tâches

Le libellé comprend 30 caractères au maximum.

La codification utilisée comprend 5 caractères (numériques).

Le 1er caractère indique le secteur géographique.

Le 2ème caractère indique la classe (Ex.: groupe de bâtiment).

Le 3ème caractère indique la sous-classe (Ex.: Fondation, Façade).

Les 4ème et 5ème caractères indiquent le n° de la tâche.

D) Contrôle et suivi de projet

D.1 Contrôle de l'utilisation des ressources

Le contrôle utilisé ne se fait pas selon le bordereau client, mais selon les postes définis par l'étude des prix.

D.2 Heures de personnel

Chaque chantier enregistre quotidiennement le nombre d'heures de main d'oeuvre selon une certaine codification (codification du chantier et codification d'opérations). A la fin de chaque mois, il est ainsi possible de déterminer le total des heures passées par chantier et par tâche.

D.3 Matériaux et matériel

Les matériaux et matériels ne sont pas suivis par tâche ni par ouvrage mais par projet. Par ailleurs, il n'y a pas d'unification des méthodes de contrôle, chaque conducteur utilisant ses propres conceptions. En fait, il s'agit généralement d'un cahier de chantier où sont notées les entrées et sorties de ressources.

Dans ces conditions, une analyse correcte de l'utilisation de ces ressources est difficile à réaliser. D'autre part, ces méthodes de contrôle ne contribuent pas beaucoup à l'amélioration des ratios relatifs aux ressources.

D.4 Contrôle d'avancement de travaux

Le service ordonnancement utilise une grille interne pour tenir compte de la réalité des travaux : cette grille est cependant sans relations avec les plannings établis (codifications différentes, postes différents, etc.). L'appréciation correcte par rapport aux prévisions nous semble difficile à réaliser dans ces conditions.

E) Recalage de travaux

Le recalage de travaux n'est pas fréquent au service ordonnancement; il se fait sur demande du chantier.

On semble considérer que le fait de procéder à un recalage revient à entériner un retard par rapport aux prévisions initiales. Le planning de départ est en tout cas conservé, pour suivre l'historique du chantier.

F) Etablissement des situations mensuelles

Les paiements mensuels destinés à être envoyés au maître d'ouvrage sont établis selon le bordereau des prix du marché, en prenant en considération les quantités de travaux réellement exécutés. Ces situations sont établies par un programme indépendant.

La même grille interne utilisée pour le contrôle d'avancement de travaux sert à l'établissement de situations internes.

G) Graphiques

Le document graphique utilisé est le diagramme GANTT. Ce diagramme comprend les renseignements suivants :

- . visualisation des durées, marges totales et marges libres
- . le classement utilisé des tâches est celui des débuts au plus tôt croissants
- . les libellés et codes à gauche du diagramme
- . pour faciliter le repérage des tâches, un trait de rappel est utilisé toutes les cinq tâches.

On notera que le(s) chemin(s) critique(s) et les relations entre tâches ne sont pas représentés.

Le format utilisé est un format fixe (A0).

H) Conclusion

Une intégration insuffisante entre les services étude de prix et ordonnancement se fait sentir à DUMEZ.

Une amélioration de la gestion de chantier serait certainement possible en rendant compatibles les programmes existants (gestion de personnel, études de prix, ordonnancement) au niveau notamment de la codification. Cette amélioration serait obtenue dans des opérations telles que le suivi de chantier et des paiements mensuels, ce souci d'intégration étant également porté au niveau des grilles internes.

Entreprise TOMMASSINI

A) Généralités

TOMMASSINI est une entreprise familiale avec un personnel de 170 personnes et un chiffre d'affaires de 60 Millions de Francs dont la répartition de la manière suivante :

- . 60% : logement social
- . 25% : équipement sociaux
- . 15% : génie civil

B) Facteurs influant sur le découpage du projet en tâches élémentaires

A TOMMASSINI, le point de départ pour la préparation des chantiers est le devis technique. Ce devis technique ainsi que certains problèmes de gestion sont traités par ordinateur.

Ce programme donne pour chaque tâche un certain nombre d'opérations qui la constituent. Ces tâches ne sont pas détaillées, elles constituent plutôt des ouvrages (Terrassements généraux, fondations,...).

Nous verrons que le contrôle en sera influencé.

C) Détermination des caractéristiques des tâches

1. Durée

Les quantités de travaux par opération étant introduites, le programme permet de calculer la durée d'exécution de celles-ci grâce à l'existence d'une bibliothèque de temps élémentaire. La connaissance de la répartition des effectifs selon les diverses opérations permet de déterminer la durée des opérations ainsi que celle des tâches dont elles sont les composantes.

2. Types de relations entre tâches

Le découpage des tâches étant réalisé d'une manière assez grossière, on aboutit à un nombre de tâches très faible (inférieur à 15 pour le G.O.). De ce fait, ni la méthode des potentiels-tâches ni des méthodes équivalentes ne sont utilisées. Les tâches sont reportées directement sur le diagramme GANTT.

3. Ressources utilisées par les tâches

Le programme utilisé comprend également une bibliothèque de ressources. A chaque type d'opération correspond une quantification de ressources (Ex.:lm2 d'enduit de mur en parpaings comprend - x parpaings de .., y maçons), etc.. Les ressources à utiliser sont alors déterminées et valorisées pour chaque projet.

4. Codification et libellé des tâches

La codification des tâches et des opérations qui les constituent est donnée par le programme utilisé. Elle ne prend pas en compte les paramètres de réalisation (lieu géographique, corps d'état, etc.). Elle est pourtant reprise intégralement.

D) Contrôle et suivi de projet

1. Contrôle d'avancement de travaux

Les plannings sont réalisés par lots. Du fait du nombre de tâches très réduit, on pourrait penser que le contrôle d'avancement de travaux se trouve facilité. En réalité, l'appréciation de l'avancement au niveau d'une tâche, qui pourrait être normalement divisée en plusieurs, devient difficile à saisir.

A TOMMASSINI, l'avancement de travaux est réalisé en faisant l'estimation des quantités des travaux réalisés contenues dans le marché.

2. Contrôle d'utilisation des ressources

Le chef de chantier établit un rapport journalier qui reprend les opérations contenues dans le devis technique en reportant les heures de personnel qu'elles ont nécessitées.

Le cumul des heures sur un mois donne lieu à l'élaboration des fiches de paie (obtenues par le même programme). On peut alors établir un contrôle par rapport au budget prévu.

La prévision de l'utilisation des ressources en fonction du temps est laissée à l'initiative des conducteurs de travaux, le programme utilisé ne pouvant la déterminer (ce n'est pas un programme d'ordonnement).

Le contrôle d'utilisation des matériaux est plus difficile. C'est un contrôle qui se fait d'une manière globale, c'est à dire au niveau du chantier et non pas au niveau des tâches.

Par ailleurs, le programme permet de donner les quantités de matériaux entrées; elles ne sont pas forcément consommées lorsque l'on veut établir un contrôle. Un enregistrement régulier de consommation est une opération qui revient chère, estime-t-on ici.

E) Recalage de travaux

Le recalage des plannings se fait une ou deux fois par mois. nous avons déjà mentionné que les relations logiques entre tâches n'étaient pas bien prises en compte. Dans ces conditions, ce recalage revient en fait à une planification complète de l'ensemble des tâches.

ENQUETES AUPRES DES ENTREPRISES

F) Etablissement des situations mensuelles

La situation mensuelle est obtenue par le programme, sur la base des bordereaux des prix unitaires, après introduction des travaux réalisés.

Une comparaison entre les encaissements (situations) et les décaissements (déboursés) peut alors être établie.

G) Graphiques

Le diagramme GANTT est en fait le seul document graphique utilisé. Il comprend les renseignements suivants :

- . le libellé et la codification des tâches (à gauche)
- . le tracé des durées des tâches
- . les successions de tâches.

Il n'y a pas de tri particulier des tâches; ce diagramme est assez sommaire.

H) Types de problèmes d'ordonnement traités

Etant donné le faible nombre de tâches et la méthode de planification utilisée, seul le problème central (pas dans tous ses aspects) est traité.

I) Conclusion

L'utilisation d'un programme informatique et d'une bibliothèque de ressources permet à cette entreprise une détermination aisée de celles-ci. Cependant, du fait qu'elles sont établies en dehors de tout programme d'ordonnement, leur échéancier n'est pas connu.

D'autre part, adopter la codification utilisée par le programme d'utilisation des ressources, qui n'est basée que sur la nature des opérations, ne nous semble pas adapté pour la conduite des travaux puisqu'elle ne prend pas en compte les spécificités de travaux déjà évoqués.

Le découpage de projets en tâches (inférieures à 15 en G.O.) nous semble assez grossier pour leur définition correcte et leur contrôle.

Enfin, l'utilisation du diagramme GANTT comme méthode d'ordonnement, nous semble être une démarche quelque peu en retrait, si l'on considère "l'avance" de cette entreprise dans la détermination des ressources.

La conception d'un programme d'ordonnement utilisant la bibliothèque des ressources existantes nous semble intéressante à réaliser.

Entreprise Nord France

A) Généralités

L'entreprise Nord France compte environ 3000 personnes; ses activités sont orientées vers le bâtiment et le génie civil.

B) Facteurs influant sur le découpage du projet en tâches élémentaires

Pour le bâtiment, les tâches obtenues résultent du découpage suivant :

- découpage du projet par bâtiment
- dans chaque bâtiment, découpage par niveau
- dans le cas où le bâtiment comprend des joints de dilatation, procéder au découpage de celui-ci par plot.

Les tâches obtenues doivent également comporter certaines propriétés; elles doivent en particulier

- . appartenir à un corps d'état déterminé
- . demander un temps d'exécution variant entre 5 et 15 jours (pour le gros oeuvre).

C) Détermination des caractéristiques des tâches

1. Durée des tâches

Les durées des tâches sont déterminées en tenant compte de l'expérience acquise et des contraintes de chaque chantier. Elles sont suffisamment connues pour beaucoup de tâches.

2. Types de relations entre tâches

Les méthodes d'ordonnement évoluées, telles que la méthode des potentiels-tâches, ne sont pas utilisées à Nord France. Les tâches, ainsi que leurs relations de dépendance, sont directement reprotées sur un diagramme GANTT.

3. Ressources utilisées par les tâches

Le service ordonnancement de l'entreprise établit un planning budgétaire pour la ressource concernant la main d'oeuvre (en heures et en Francs) et un planning d'utilisation du gros matériel avec la participation du chantier. Ce dernier se charge de la détermination et du contrôle des autres ressources.

Ainsi, au chantier situé à Porte de Vincennes, Paris, on procède comme suit :

- . Approvisionnements et matériel : ils sont commandés au fur et à mesure des besoins.

ENQUETES AUPRES DES ENTREPRISES

Les approvisionnements sont contrôlés par des bons de livraison et le matériel par des bons de sortie. Ces bons sont enregistrés sur un micro-ordinateur.

- . Main d'oeuvre : l'utilisation du personnel est contrôlée par un rapport hebdomadaire.
- . Budget du chantier : L'enregistrement sur micro-ordinateur des divers frais de chantier permet d'établir le budget du chantier. Il se présente ainsi :

	Budget initial	Frais supplém.	Avancement Frais supplém.	Budget à 100%	Budget restant
ressources diverses					

Il faut noter que les heures de main d'oeuvre sont les mieux suivies, puisqu'on arrive à donner leur utilisation par bâtiment et par tâche.

Exemple de résultats par bâtiment

Tâches	U unité	Q quantité	T/U	temps par unité	prévu	réalisé

4. Codification et libellé des tâches

Les tâches ne sont pas codifiées d'une manière générale. Lorsque cela se fait, on essaie de reprendre la codification du marché.

E) Contrôle et suivi de projet

1. Contrôle d'avancement de travaux

Les avancements de travaux sont relevés par le chantier et discutés aux réunions de chantier qui se tiennent tous les mois.

2. Recalage

Les prévisions principales doivent constituer l'objectif à atteindre. On établira éventuellement, en cours de réalisation, un planning mettant en oeuvre des mesures en vue d'atteindre cet objectif. En cas d'impossibilité, on procédera à des simulations pour déterminer la meilleure solution.

A Nord France, on n'établit pas plus d'un recalage par projet. Ce recalage constitue en fait une planification totale de l'ensemble des tâches du fait de la méthode d'ordonnement utilisée.

F) Etablissement des situations mensuelles

La situation de travaux est établie conformément aux bordereaux des prix définis par le marché. Il y a lieu de faire remarquer qu'une tâche définie dans les plannings contient en général plusieurs postes de bordereaux de prix. Il n'y a pas alors de relations claires qui s'établissent entre l'avancement des tâches des plannings et les situations de travaux.

G) Graphiques

La courbe de charge de main d'oeuvre est obtenue sur un micro-ordinateur affecté à un autre service et après introduction au clavier de l'ensemble des résultats.

Le diagramme GANTT est établi manuellement et comprend les renseignements suivants :

- le libellé des tâches (à gauche)
- le tracé des durées des tâches
- les relations entre tâches

Les plannings sont établis par corps d'état; le classement des tâches se fait sans tri particulier.

H) Conclusion

Concernant cette entreprise, nous pouvons retenir les éléments suivants :

a) utilisation de la méthode GANTT comme méthode d'ordonnement

Nous avons déjà eu l'occasion lors de notre stage dans cette entreprise de discuter des avantages d'utiliser des méthodes plus évoluées que nous avons présentées dans la première partie de notre travail.

b) non codification des tâches

Le nombre de tâches étant important, cette codification est importante pour la conduite des travaux; elle l'est également pour l'établissement des paiements mensuels si l'on veut une certaine intégration dans la gestion des projets.

c) recalage de dates

Conséquence de la méthode d'ordonnement utilisée, le recalage des dates est une opération qui ne se trouve pas facilitée; sa fréquence est alors réduite au minimum (un recalage par projet).

d) équipement de chantier - intégration

Le chantier que nous avons visité est bien équipé; cela devrait faciliter l'intégration au niveau de certaines opérations telles que les plannings de travaux, le contrôle des ressources et les situations de travaux.

e) utilisation d'un logiciel

Etant donné l'importance des projets de Nord France, l'utilisation d'un logiciel d'ordonnement serait avantageux sur plusieurs plans.

ENQUETES AUPRES DES ENTREPRISES

Société G.M.F.

A) Généralités

G.M.F. est une grande société dont les activités sont dirigées vers le logement individuel.

G.M.F. ne réalise pas, elle passe des marchés avec des entreprises.

Son service d'ordonnancement étant particulier, nous ne suivrons pas le plan de présentation tel qu'il a été utilisé pour les autres entreprises.

B) Rôle de l'ordonnancement à G.M.F.

Ne fabriquant rien, G.M.F. n'a pas de matériaux ou de matériel à gérer , mais :

- des dossiers administratifs à gérer
- des entreprises à rechercher
- des chantiers à surveiller
- des pré-commandes à gérer.

Le rôle le plus important attendu du service ordonnancement est de permettre à la fonction commerciale d'offrir à la clientèle des délais concurrentiels.

Pour assurer ce rôle, il doit permettre de :

- optimiser l'optimisation du potentiel (humain et matériel)
- déterminer et mettre en place les moyens nécessaires à la production
- prévoir et conduire la production
- optimiser les stocks (nombre de chantiers)

D) Autres missions de l'ordonnancement

Parallèlement, la fonction ordonnancement a pour mission de :

- établir les programmes d'exécution des activités; de préparer et d'assurer leur enclenchement
- contrôler l'avancement des actions
- centraliser et répercuter les informations concernant les procédures et méthodes de travail de l'entreprise

ENQUETES AUPRES DES ENTREPRISES

E) Outils de l'ordonnancement

Parmi les différents outils de l'ordonnancement, nous citons :

- 1) Tableau de suivi des actions technico-administratives
- 2) Tableau de charge des entreprises
- 3) Fiche de contrôle d'activité
- 4) Planning général des travaux
- 5) Planning travaux par conducteur
- 6) Compte-rendu mensuel d'activité.

a) Tableau de suivi des actions technico-administratives

Ce document est le tableau de bord de l'ordonnancement : c'est sur ce document que seront enregistrées toutes les opérations à réaliser et établis les plannings prévisionnels de réalisation de chacune des opérations enregistrées.

Le planning prévisionnel est établi en deux fois :

- 1) une première fois à partir de l'enquête terrain terminée jusqu'à la prévision P.C. (permis de construire reçu)
- 2) une seconde fois de P.C. reçu à R.C. (remise de clefs).

La mise à jour régulière de ce document doit permettre un suivi permanent des opérations en cours.

b) Tableau de charge des entreprises

Objet : maitrise la charge de travail confiée par G.M.F. aux entreprises

Ce document comprend :

- 1) la liste des entreprises avec n° de code
- 2) l'effectif ouvrier affecté aux chantiers G.M.F.
- 3) la capacité de production mensuelle des entreprises
- 4) les zones d'activités des entreprises
- 5) une fiche de contrôle d'activité

c) Fiche de contrôle d'activité

Cette fiche est insérée dans le document de charge des entreprises.

Son objet : renseigner par corps d'état

- 1) sur la capacité globale de production des entreprises travaillant pour l'antenne
- 2) sur les volumes prévisionnels à réaliser :
 - à partir du stade "enquête terminée"
 - à partir du stade "P.C. reçu"
- 3) Enregistrer les réalisations
- 4) Renseigner l'antenne sur la productivité des entreprises

ENQUETES AUPRES DES ENTREPRISES

d) Planning général des travaux

Objet : on peut citer les points suivants

- 1) matérialiser par secteur d'activité (zones géographiques) l'ensemble de l'activité G.M.F.
- 2) Suivre l'évolution des chantiers en cours
- 3) Afficher les P.C. reçus
- 4) Afficher les B.A.D. (bons à démarrer) reçus
- 5) Informer le client et les entreprises

e) Planning travaux par conducteur

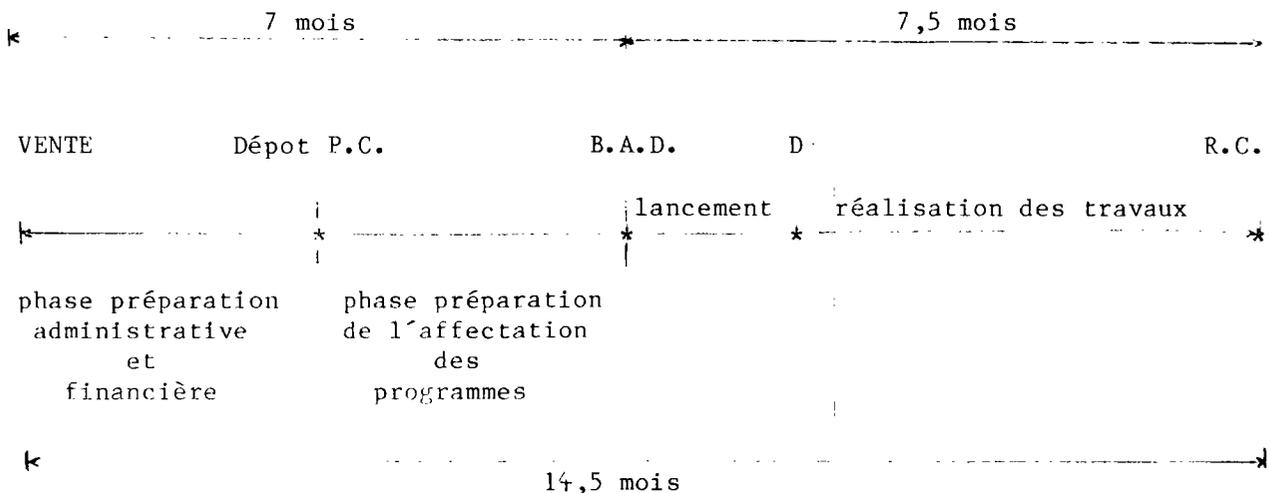
Objet : 1) suivi des chantiers confiés à un même conducteur
2) Mise à jour du planning général d'antenne

f) Compte-rendu mensuel d'activité

Un compte-rendu par conducteur est établi en fonction de la situation constatée sur son planning général.

F) Remarque sur le mode de planification

La planification d'une opération doit se situer dans un certain cadre de délais. Ce mode de planification peut être résumé par le schéma suivant :



G) Conclusion

La nature des problèmes pris en considération par le service ordonnancement de G.M.F. se différencie des problèmes rencontrés dans les entreprises du fait de la spécificité de cette société. Cependant, un certain nombre de ceux-ci sont similaires à ceux rencontrés traditionnellement dans les entreprises tels que le problème de répartition des tableaux de charge des entreprises travaillant pour G.M.F. ou le contrôle et suivi des activités. Etant donné la constance des phases dans les opérations G.M.F., leur exploitation par ordinateur serait facilitée. Nous pensons notamment à la mise à jour du tableau de suivi des activités technico-administratives qui demande beaucoup de temps et de documents telle qu'elle est faite actuellement.

COTEBA

A) Généralités

COTEBA est une grande société de services. Ses activités concernent le secteur du bâtiment, de l'industrie et de l'informatique. Une partie importante de son chiffre d'affaires est réalisé à l'étranger. COTEBA possède un logiciel PROJIT qui permet une gestion intégrée des chantiers.

B) Facteurs influant sur le découpage du projet en tâches élémentaires

Le découpage des tâches est établi après discussion avec les entreprises pour tenir compte de leurs procédés technologiques, de leur organisation et de leurs moyens de réalisation.

Le principe de ce découpage consiste à aller du général au particulier, c'est à dire que les détails des opérations sont pris en considération quand les tâches qu'elles constituent sont connues avec d'avantage de précisions.

Lorsque le découpage obtenu est trop détaillé, il est possible de procéder à leur agrégation pour mieux saisir ces tâches.

La finesse du découpage est fonction de la complexité du projet à réaliser.

C) Détermination des caractéristiques des tâches

1. Durée des tâches

COTEBA utilise des ratios de durées des tâches dans des conditions spécifiques, ces ratios étant régulièrement mis à jour. Les conditions de réalisation ayant été déterminées avec l'entreprise, la durée des tâches est en conséquence connue.

2. Types de relations entre tâches

Les relations de succession utilisées entre les tâches sont des relations d'antécédence parce qu'elles permettent de mieux saisir les enclenchements des activités.

3. Ressources utilisées par les tâches

De même que pour les durées, les ressources utilisables par les tâches sont déterminées à partir de ratios, en fonction de leur nature. Ces ressources concernent les moyens les plus importants : personnel, matériaux de construction, sans aller jusqu'à la petite fourniture.

4. Codification et libellés des tâches

La codification des tâches est fonction de la complexité du projet. Il existe 6 possibilités de codification à COTEBA.

Le libellé des tâches est inférieur à 32 caractères.

D) Contrôle et suivi de projet

1. Contrôle d'avancement de travaux

COTEBA est également engagée vis à vis du maître d'ouvrage sur le délai des travaux. Suivant l'importance du projet, des contrôles d'avancement sont établis à une fréquence donnée (une à deux fois par mois). Ces avancements sont réalisés en %.

2. Contrôle d'utilisation des ressources

N'étant pas entreprise, COTEBA ne réalise pas de tels contrôles.

E) Recalage de projet

Il importe pour une société de services de ne pas se comporter comme "une caisse enregistreuse" des résultats des travaux. L'objectif reste de réaliser le projet dans les délais et les coûts prévus.

Il convient avant de procéder à un recalage de :

- analyser les causes de décalage
- examiner les mesures susceptibles de réduire ces décalages et leur faisabilité (ex.: augmenter les moyens de réalisation)
- tirer la sonnette d'alarme assez tôt, dès que les retards sont jugés significatifs
- tenir compte de l'autonomie des marges

Les nouveaux plannings ainsi obtenus peuvent alors être respectés.

La fréquence de ce recalage est aussi fonction de son importance, c'est à dire de sa durée.

F) Etablissement des situations mensuelles

Le découpage du projet aboutit à un certain nombre de tâches. Celles-ci sont alors valorisées en tenant compte des bordereaux de prix du marché. Ces valorisations sont approuvées par le maître d'ouvrage. Les avancements de travaux des tâches définies dans les plannings, compte tenu de leur valorisation, permettent alors d'établir un paiement correspondant.

G) Graphiques

Les documents graphiques, obtenus par ordinateurs, concernent

- les courbes de charge : personnel, matériel et matériaux
- le diagramme GANTT

Ce diagramme est bien renseigné; il comprend :

- . le libellé et la codification des tâches (à gauche du diagramme GANTT et au dessus des tracés)
- . le tracé des durées et des marges
- . les relations de succession entre tâches (pour les tâches ayant une faible marge libre)
- . la représentation spécifique des chemins critiques

ENQUETES AUPRES DES ENTREPRISES

Il existe plusieurs possibilités de classement des tâches. Un classement utilisé est celui qui consiste à classer les tâches par entreprise et par leurs débuts au plus tôt croissant.

H) Types de problèmes d'ordonnement traités

Les problèmes de nivellement ou de lissage de charge sont traités à la demande des entreprises.

I) Conclusion

COTEBA est une des plus grandes sociétés de service de France, équipée de puissants moyens informatiques. Selon l'importance des projets, elle adopte des critères appropriés pour leur gestion (cas de la codification des tâches). C'est la seule des entreprises que nous avons visitées qui établit des paiements mensuels de travaux directement à partir des avancements des tâches définies dans les plannings.

Mais n'étant pas entreprise, elle ne s'intéresse pas à certains problèmes tels que le contrôle d'utilisation de ressources.

CHAPITRE VII

Intégration des contraintes après analyse

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

L'analyse de nos entretiens auprès des entreprises permet de mettre en évidence que la diversité de leur taille et de leur activités se traduit par une certaine différence quant à la priorité qu'elles accordent aux objectifs à atteindre dans les problèmes de gestion de chantier. L'incidence sur les méthodes d'ordonnement utilisée n'est pas négligeable.

Les conclusions qui se dégageront des analyses que nous allons faire serviront de cahier de charge à l'outil d'ordonnement à concevoir.

1. Analyse des contraintes

1.1 Difficulté de prendre en compte tous les paramètres

La construction d'un ouvrage est en effet un travail qui comporte des aléas, les conditions locale ayant leur influence. Les paramètres difficiles à prendre en compte peuvent être de nature

- . physique : météorologie, nature de sol
Malgré les progrès des techniques utilisées dans ces domaines, de mauvaises surprises peuvent survenir.
- . humaine :
La qualité de la main d'oeuvre en particulier n'est pas pareille dans toutes les régions
- . matérielle :
Certains matériaux peuvent être localement difficile à trouver, voire inexistant.

1.2 Attitudes face à la réalisation d'un projet

La réalisation d'un projet peut susciter des attitudes différentes, selon sa complexité.

L'attitude qui nous semble la plus efficace consiste à décomposer le projet en différentes parties disjointes telles que chacune d'elles puisse être considérée comme indivisible. La réalisation du projet initial est équivalente à celles de toutes ses parties.

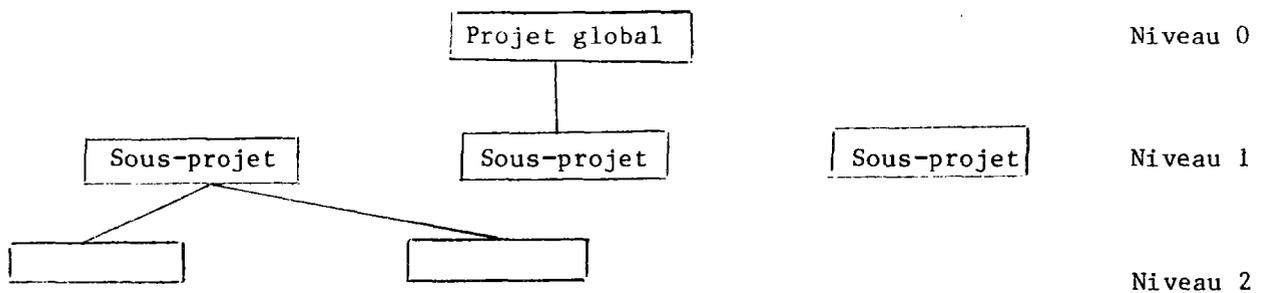
Toute partie d'un projet considérée comme un tout indivisible constitue, on le sait, une tâche élémentaire. On s'aperçoit cependant que cette indivisibilité est relative; elle dépend de la finesse de la décomposition.

1.3 Tâches élémentaires et décomposition d'un projet

La recherche d'une estimation plus fine des caractéristiques du projet conduit à une décomposition plus fine de celui-ci. Cela entraînera par ailleurs une plus grande efficacité dans le suivi de chantier. La méthode de décomposition d'un projet peut être généralisée. Elle peut se réaliser en plusieurs étapes successives associées à des niveaux de responsabilité dans la maîtrise de la réalisation, selon une structure arborescente.

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

Ainsi un sommet de niveau i dans l'arborescence peut être considérée soit comme un projet dont les différentes tâches sont des projets de niveau $i+1$, soit comme une tâche d'un projet de niveau $i-1$. La racine de l'arborescence représente le projet le plus global qui, lui-même, peut être considéré comme une tâche faisant partie d'un projet plus vaste sortant du cadre de l'étude. Au dernier niveau de l'arborescence, les sommets pendants représentent des tâches élémentaires suffisamment simples pour que leurs caractéristiques soient supposées connues avec suffisamment de précisions.



Les sous-projets du niveau 1 peuvent par exemple correspondre aux divers corps d'état. A mesure que l'on descend dans l'arborescence, les détails de plus en plus fins peuvent être pris en compte. Les objectifs et les contraintes du projet global étant fixés, l'ordonnancement qui sera retenu doit satisfaire l'ensemble des contraintes à chaque niveau.

La décomposition adoptée doit aboutir à un ensemble de tâches qui doivent faciliter la conduite de la réalisation. A un certain niveau de l'arborescence, celles-ci doivent satisfaire aux conditions suivantes :

- être réalisées par des moyens facilement déterminables
Un des moyens importants est la notion d'équipe
- être facilement identifiables
La tâche doit appartenir à un corps d'état déterminé et formée d'opérations ne présentant aucune ambiguïté quant à leur appartenance à cette tâche.
- être réalisées dans un certain intervalle de temps
En réalité, le niveau de décomposition auquel on arrive (qui détermine la durée des tâches) est aussi fonction des contrôles qui seront effectués : ainsi, si les contrôles de travaux sont réalisés tous les 15 jours, la durée de la majorité des tâches devrait être inférieure à cette valeur.
- assurer une certaine continuité dans les travaux
Cette continuité doit être absolument assurée pour une tâche, la préemption n'étant pas autorisée dans le bâtiment. Elle est cependant beaucoup plus difficile à assurer pour un ensemble de tâches. Nous reviendrons sur cette question plus loin.

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

1.4 Durée des tâches

Dans le projet global, soit d sa durée, soit d_i la durée du sous-projet i du projet global. Il apparaît ainsi que l'échelle des temps associée au problème d'ordonnement à chaque niveau décroît au fur et à mesure que l'on descend dans l'arborescence.

L'estimation des durées à chaque niveau n'est possible qu'à travers la connaissance des tâches élémentaires. L'exemple d'entreprises telles que TOMMASSINI ou COTEBA qui utilisent une bibliothèque des temps élémentaires devrait se généraliser.

Nous avons constaté, pour les entreprises qui ne disposent pas d'une telle bibliothèque, que le problème probabiliste de détermination des durées n'est pas posé; il est considéré plus raisonnable de se limiter à une évaluation en acceptant de la modifier éventuellement par la suite.

Etant donnée la relation entre durée d'une tâche et les ressources qui lui sont associées, l'estimation de celle-ci suppose déjà une certaine politique quant à l'utilisation des ressources.

1.5 Détermination et contrôle des ressources

1.5.1 Détermination

La détermination des ressources nécessaires à la réalisation d'un projet dépend de leur précision au niveau des tâches. Cette détermination est conditionnée par une bonne analyse des opérations qui constituent chaque tâche élémentaire.

Si l'on note

- . une opération (I,J) I n° de la tâche
 J n° de l'opération
- . $R(I,J)$ la ressource nécessaire à cette opération (nous avons considéré ici une seule ressource)

les ressources sont déterminées alors à tous les niveaux de l'arborescence.

Ainsi, si la tâche I est constituée de m opérations, l'ensemble $RT(I)$ de ressources qui lui sont associées est déterminé par

$$RT(I) = \sum_{j=1}^m R(I,J)$$

La difficulté qui se pose en bâtiment est constituée par une certaine imprécision des ratios utilisés. Pour beaucoup d'entreprises, l'étude des ressources est réduite aux heures de main d'oeuvre.

En l'absence de bibliothèques d'allocation de ressources, celles-ci seront demandées au réalisateur pour tout projet.

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

Bien entendu, la quantification et la valorisation des ressources ne suffit pas; elles doivent être accompagnées d'un échéancier d'utilisation, résultant de l'ordonnement étudié.

1.5.2 Contrôle

Nous avons constaté que l'utilisation des ressources est contrôlée d'une manière sélective, quelquefois globale, selon les entreprises. Dans certains cas, les méthodes employées ne sont pas toujours efficaces, parce qu'appliquées dans un contexte non intégré.

Les difficultés d'intégration se situent essentiellement au niveau de :

- la circulation de l'information

Il faut éviter l'erreur de croire que le bureau d'ordonnement doit exercer seul la fonction ordonnancement. Elle ne peut résulter que d'une collaboration étroite entre les divers services (étude de prix, gestion du personnel, etc.) jusqu'aux chefs d'équipe.

Durant notre stage à Nord France, les responsables d'ordonnement nous avaient déjà fait part des difficultés qui se posaient pour la détermination des ressources des parties d'ouvrages résultant du découpage du projet global. En effet, les quantités qui leur sont transmises par le service étude des prix sont soit globales, soit résultant d'un découpage différent.

Les consultations doivent intégrer les avis des chefs de chantier et chefs d'équipe puisqu'il leur revient finalement de concrétiser sur le terrain les ordonnancements décidés.

- l'insuffisance des chantiers en équipement

Le contexte intégré qui serait constitué par un certain nombre de services et des cellules élémentaires qui constituent les chantiers ne peut être fonctionnel si celles-ci sont mal équipées pour mettre à exécution la politique de réalisation.

L'exemple de Nord France qui a équipé un de ses chantiers, situé à Porte de Vincennes, Paris, pour effectuer les problèmes de gestion va dans le sens de cette préoccupation.

Bien entendu, il serait difficile de vouloir tout contrôler jusqu'au niveau des tâches, tant les ressources sont nombreuses (exemple de la petite fourniture). Il est cependant nécessaire de contrôler l'utilisation des ressources jugées importantes.

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

Il ne faut pas oublier en effet les conditions dans lesquelles les entreprises de bâtiment exercent leurs activités : elles doivent, du fait qu'elles ne peuvent aborder le marché qu'au travers de maître d'oeuvre et de maîtres d'ouvrage, vendre avant d'exécuter, contrairement aux autres industries qui peuvent proposer directement au consommateur un produit qu'elles ont conçu. On comprend alors l'importance de pouvoir proposer, dans des délais fixés, des prix compétitifs, avec suffisamment d'assurance qu'ils seront rentables pour l'entreprise. Cette assurance ne peut résulter que de la pratique des contrôles budgétaires (résultant des contrôles de l'ensemble des ressources) au niveau des chantiers.

Les prix de revient recueillis ainsi au niveau des chantiers à l'occasion de contrôles budgétaires, serviront de base à l'élaboration des prix de revient prévisionnels lors de l'établissement des devis et les prix prévisionnels contenus dans ces devis serviront de base de référence au contrôle des prix de revient réels pendant le déroulement des travaux.

Le contrôle des dépenses peut être réalisé par exemple par groupe de tâches, formant ainsi des sous-ensembles, ces sous-ensembles pouvant correspondre à des corps d'état.

Pour chacun des sous-ensemble, on détermine des coûts prévus, ce qui permet d'établir un échéancier des dépenses cumulées.

Cet échéancier peut être représenté par deux courbes (voir fig. 7.1)

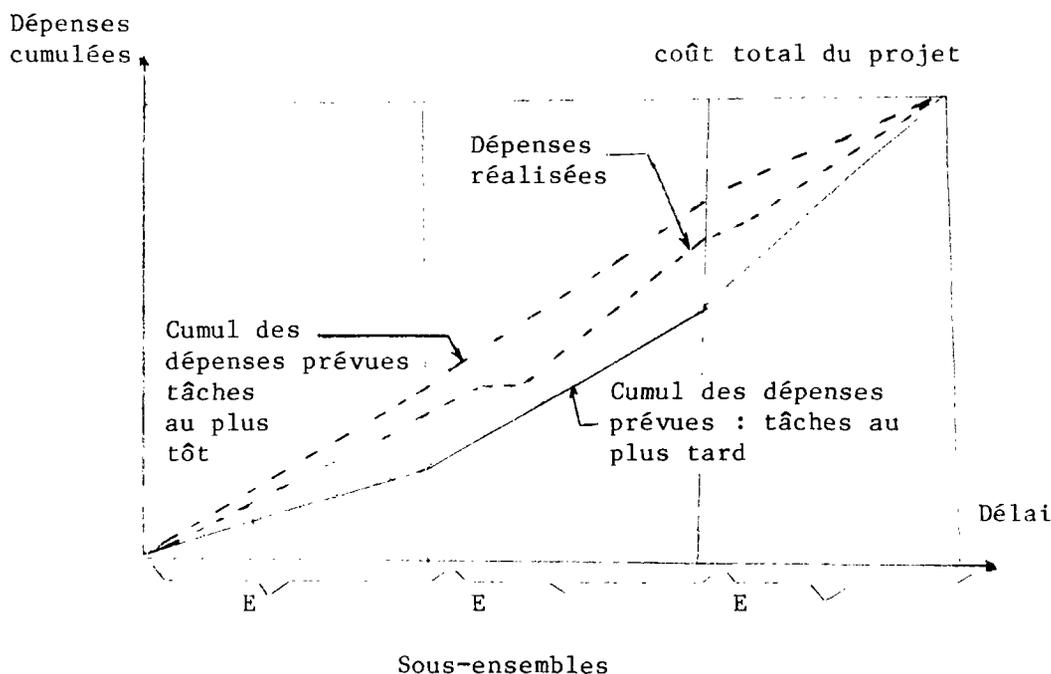


Fig. 7.1 Echéancier des dépenses en fonction de l'ordonnancement

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

- la courbe de cumul des dépenses prévues, en positionnant les tâches au plus tôt
- la courbe de cumul des dépenses prévues, en positionnant les tâches au plus tard

Ensuite, au fur et à mesure de l'avancement du projet, on contrôle les dépenses réalisées en cumul. On s'assure que l'on reste dans la fourchette déterminée par les courbes prévisionnelles.

Lorsque l'on se situe en dehors de cette fourchette, les causes doivent être recherchées au niveau du respect des délais de réalisation, des données sur les ressources ou de leur contrôle d'utilisation.

Le contrôle conjugué d'avancement de travaux et d'utilisation des ressources permet d'établir

- . un état prévisionnel de consommation de ressources correspondant à une période donnée
- . les écarts entre les consommations réelles et prévisionnelles pour cette période
- . les écarts prévisibles lorsque le chantier sera terminé
- . les quantités de ressources restant à consommer.

On peut donc établir pour chaque ressource, à une date donnée t , le type de document suivant :

n°	Ressources	A		B			C		
tâche	n° libellé	Intensité		résultats/avanc			résultats prévisibles		
		Prevues	réalisées	Prév/av	réal	écart	Prév.totale	Prev.Prab	Ecart
		A_1	A_2	B_1	B_2		C_1	C_2	

A = Intensité de ressources par tâche

B = Résultat en fonction de l'avancement par tâche

B_1 = quantité de ressources qui aurait dû être consommée

B_2 = quantité de ressources consommée

C = résultats prévisibles lorsque la tâche sera terminée

C_1 = résultat totale pour la ressource

C_2 = Durée de la tâche prévue x intensité de ressource pour cette tâche

Ce document qui résulte du découpage du projet permet donc de prendre en compte les approvisionnements.

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

1.6 Paiements mensuels

Il ressort, de nos contacts avec les entreprises, que les paiements des travaux sont établis pour la plupart d'entre elles indépendamment de l'ordonnancement des travaux. Ils sont établis sur la base des bordereaux de prix du marché. Il est pourtant possible, à l'exemple de COTEBA, d'établir des situations d'après les avancements des travaux constitués par les tâches ordonnancées, celles-ci ayant fait l'objet au préalable d'une valorisation approuvée par le maître d'ouvrage. Il suffit de multiplier ces avancements par les valorisations correspondantes.

Un tel procédé a l'avantage

- d'éviter la redondance de contrôles de travaux
- faciliter l'établissement du mouvement de la trésorerie puisque tout encaissement ou décaissement peut être attribué à des tâches ordonnancées
- d'obtenir ces situations par un même programme (programme d'ordonnancement).

Les paiements mensuels peuvent se présenter sous la forme suivante :

n° tâche	CODE	Libellé	Prix unitaire	% Avan	Montant correspondant	Montant perçu	Montant à recouvrir

L'établissement de tels paiements nécessite que la codification des tâches soit très claire. Cette codification sera étudiée plus loin.

On peut étudier la variation des situations mensuelles en fonction du temps pour des ordonnancements donnés. Elles auront la même variation que les courbes données par la fig. 7.1.

1.7 Recalage et suivi de chantier

1.7.1 Suivi de chantier

Ainsi qu'il a déjà été signalé par ailleurs, les modèles utilisés pour représenter les problèmes d'ordonnancement ne peuvent intégrer la totalité des paramètres intervenant dans les problèmes concrets. Outre l'incertitude inhérente à l'estimation des paramètres pris en compte, il peut y avoir des paramètres non quantifiables, ces paramètres pouvant être même d'ordre social. La conduite de la réalisation a pour objet la mise à exécution des différentes tâches composant le projet, de façon à respecter les objectifs fixés. C'est à ce stade que doivent être pris en compte les paramètres non intégrés du modèle, d'où l'importance de suivi du chantier pour l'actualisation des projets.

Nous avons constaté que le suivi de chantier est soit réalisé par un service ordonnancement centralisé (CARONI, COTEBA) soit par le chantier lui-même (DUMEZ).

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

Une action efficace sur les événements est conditionnée par une connaissance assez précises des contraintes tant intérieures qu'extérieures du projet. Il n'est pas possible, dans un secteur comme celui du bâtiment, de se substituer complètement à l'opérateur et d'automatiser totalement son travail en raison de la difficulté déjà évoquée de l'intégration de la totalité des paramètres. Les méthodes d'ordonnements doivent alors permettre au réalisateur d'évaluer les conséquences des décisions qu'il aurait prises, c'est à dire d'assurer un pilotage correct du chantier.

Il est nécessaire que le problème d'ordonnement défini par le modèle permette un nombre de degrés de libertés suffisant pour la réalisation. Ainsi l'utilisation du diagramme GANTT comme modèle d'ordonnement comme cela se fait dans certaines entreprises (TOMMASSINI, Nord France) ne permet pas d'obtenir ces degrés de libertés.

En effet, comme nous l'avons déjà signalé, le graphique GANTT n'est pas une méthode pour résoudre les problèmes d'ordonnement, mais seulement une méthode pour représenter une solution.

Ce graphique est lié au temps, donc doit être corrigé en fonction des réalisations. Il ne permet pas de calculer les autonomies de réalisation ou degrés de libertés constitués par les marges.

A l'inverse, dans la méthode potentiels-tâches (ou des méthodes équivalentes), l'enclenchement des tâches, représentées par un graphe, est immuable, quels que soient les événements dans le temps, puisque justement elle est indépendante du temps et ne représente que les positionnements relatifs des opérations.

Le suivi de chantier se fait également par les autres parties (administration, maître d'oeuvre, etc.) principalement par l'organisation de réunions de chantier. Elles sont un moyen de communication entre toutes les parties où l'on discute notamment des comparaisons avec les prévisions et de la définition des mesures à prendre pour faire approcher au mieux prévisions et réalisations. Les documents de travail utilisés pour ces réunions sont des listings de travaux réalisés soit des diagrammes GANTT sur lesquels sont reportés ces travaux.

C'est au stade de recalage que l'on doit prendre en compte les décisions prises ainsi que les nouvelles contraintes du chantier.

1.7.2 Recalage

Les décisions sont prises au niveau du recalage en vue d'atteindre les objectifs assignés au projet, en tenant compte des contraintes locales et en s'adaptant au mieux à l'apparition des perturbations* venant modifier certaines caractéristiques initiales des tâches.

* Il convient d'appeler perturbation tout changement dans les données déjà prises en compte, s'il s'agit par exemple de l'allongement de la durée d'une tâche, l'effet sur la tenue des délais sera négatif.

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

Il convient comme cela se fait dans les entreprises où les chantiers sont bien suivis d'analyser les causes des écarts constatés et la faisabilité des décisions prises. Pour assurer la fonction ordonnancement, il apparaît donc nécessaire de connaître à tout instant l'ensemble des décisions possibles. Ainsi les moyens alloués sont-ils le plus souvent l'objet de ces décisions dans les entreprises que nous avons contactées.

L'analyse des décisions prises est très importante, car toute prise d'une décision particulière a pour effet de réduire l'ensemble des décisions possibles pour achever la réalisation.

Nous avons pourtant constaté que le recalage n'était pas considéré partout comme une phase normale, qu'il n'était effectué qu'exceptionnellement dans certaines entreprises. Cette attitude nous étonne car l'intérêt des méthodes d'ordonnancement est justement de permettre l'actualisation sans reprise totale de planification. Considérer qu'un projet bien planifié doit se dérouler exactement selon les objectifs définis ne nous semble pas réaliste, à cause des problèmes d'intégration des paramètres déjà évoqués.

Dans d'autres cas (DUMEZ, CARONI), les projets sont planifiés d'une manière globale au service ordonnancement, une planification locale plus précise étant ensuite réalisée. La dichotomie entre les deux parties pourrait correspondre à une hiérarchie du moyen et court terme. Les informations sur les conditions locales doivent cependant être suffisamment connues pour ne pas aboutir à des contradictions.

En conséquence, une mise à jour de l'information, périodiquement actualisée, s'avère indispensable pour une analyse globale de projet.

Cette analyse globale étudie les caractéristiques des solutions, leur faisabilité et permet finalement les prises de décision.

1.8 Codification et libellé des tâches

Il n'y a pas de système de codification qui soit utilisé partout dans les entreprises de bâtiment; cependant, il y a certains éléments de classification que l'on retrouve.

En tenant compte de ces éléments, le système de codification que nous retenons sera fondé sur la classification suivante :

- . le n° de code utilisé
- . la zone géographique dans laquelle sera exécutée la tâche
- . le corps d'état auquel appartient la tâche
- . le sous-projet intégrant la tâche

Nous retiendrons le principe alphanumérique pour la désignation de ces éléments, un élément étant défini par 4 caractères.

Les libellés seront représentés par 16 caractères au maximum.

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

Finalement, la codification et les libellés des tâches se présenteront selon la figure 7.2

n° code	zone géog	corps d'état	Sous- projet	Libellé
4 car	4 car	4 car	16 car	16 car

fig. 7.2 Codification et libellé des tâches

1.9 Sorties graphiques

1.9.1 Diagramme GANTT

Nos enquêtes montrent que si le diagramme GANTT est utilisé par toutes les entreprises contactées; la nature des informations et la qualité de leur représentation ne sont pas assurées partout.

1.9.1.1 Prise en considération de la notion de lieux

Une des informations dont l'importance a été montrée par certains auteurs est la notion de lieux; nous reprenons leurs définitions et leurs modes de représentation (15).

Les unités de lieu sont des zones géographiques distinctes.

Des unités de lieu, géométriquement identiques, situées dans des endroits différents, sont regroupées pour former un type d'unité de lieu. Ainsi on peut donner comme exemple de type de lieu pour un bâtiment : - appartements d'un palier
- cages d'escalier, etc.

1.9.1.2 Représentation de la notion de lieux

Cette notion de lieux est générale. Pour les tâches répétitives, la prise en compte de la notion de lieux se traduit par une représentation de type "chemin de fer". Elle s'effectue de la manière suivante :

- L'axe des abscisses permet de représenter le temps
- En ordonnée, sont regroupées les unités de lieu de divers types

A chaque ligne est affectée une unité de lieu.

La notion d'unité géographique est ainsi clairement mise en évidence. Chaque ligne du planning permet de retrouver les tâches devant être effectuées dans chaque unité de lieu. La fig. 7.3 représente un exemple d'un tel planning.

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

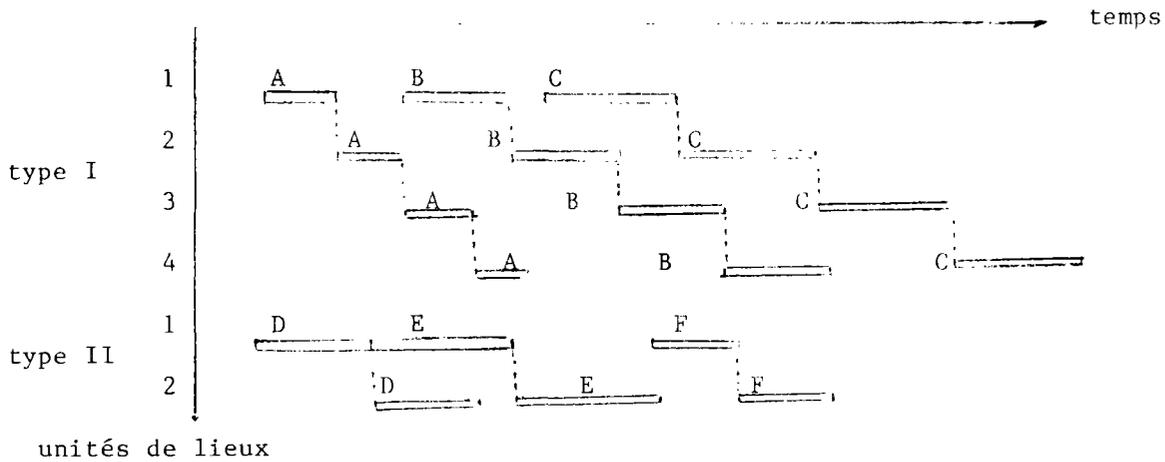


fig. 7.3 Exemple de plannings pour tâches répétitives

Ce mode de représentation permet de traduire également un principe très important, déjà évoqué, celui de la continuité du travail pour une tâche. La fig. 7.4 illustre la prise en compte de cette continuité.

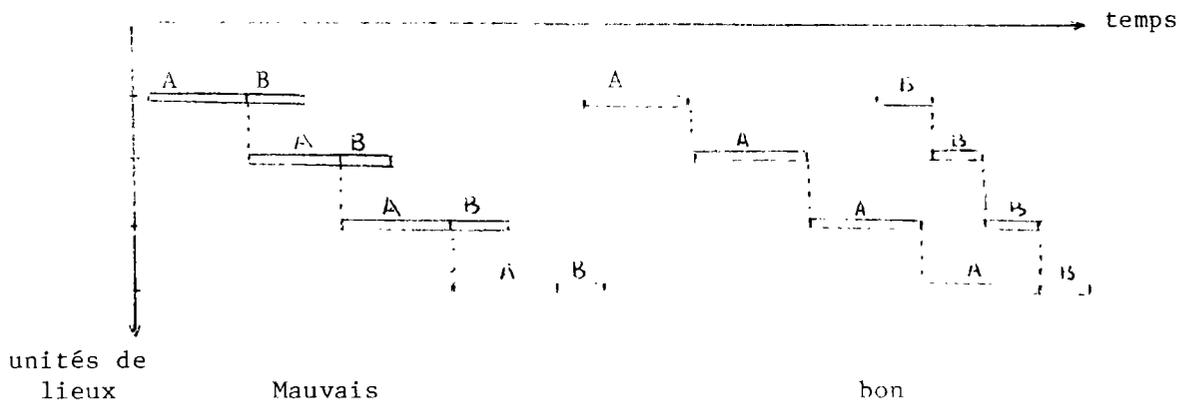


fig. 7.4 Continuité du travail pour tâches répétitives

Ce mode de représentation permet également de traduire deux autres notions importantes dont nous ne parlerons pas : la non-simultanéité* et l'uniformité de paysage** (15).

* Cette notion vise à éviter la gêne résultant de la présence d'équipes différentes dans un même lieu.

** Cette notion est importante pour le cas des tâches répétitives. Elle implique que, dans chaque unité de lieu, l'équipe ou l'ouvrier trouve le même état de lieu.

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

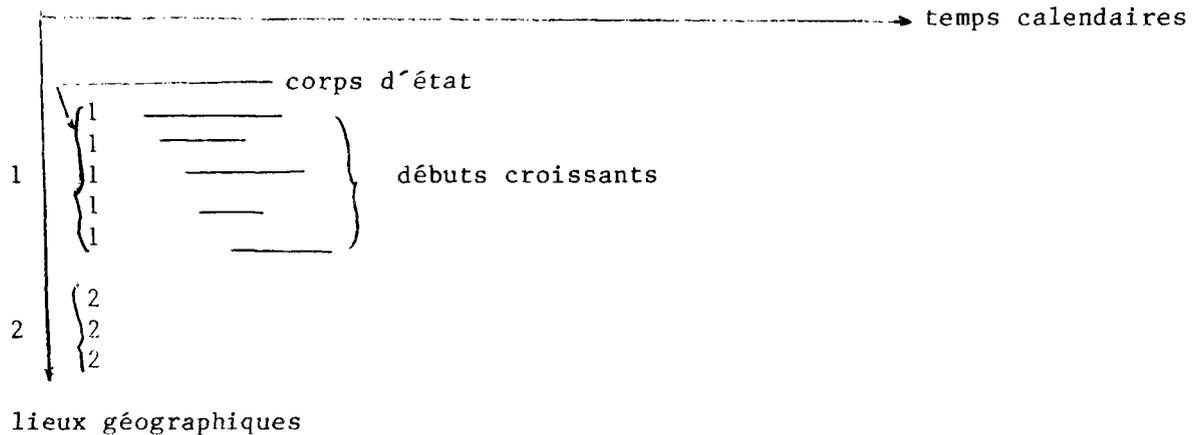
1.9.1.3 Représentation à retenir

Les méthodes d'ordonnement que nous avons étudiées et qui sont connues dans les entreprises ne permettent pas de prendre en considération les notions de continuité entre tâches (la contrepartie est un allongement de délais), de non simultanément ou d'uniformité de paysage en cas de présence de tâches répétitives. Cependant, la représentation des tâches par lieux géographiques permet d'être renseigné sur ces notions; elle entraînerait éventuellement une modification dans l'ordonnement des tâches.

Finalement, le graphique GANTT sera établi selon les principes ci-dessous. Ces principes sont simples car nous n'avons pas voulu dans ce cadre approfondir cette représentation, qui peut être étudiée par ailleurs.

a) Classement des tâches

- en abscisse, on représentera les dates calendaires
- en ordonnée, on représentera les tâches dans l'ordre suivant.
- classement selon le lieu géographique
- pour chaque lieu géographique, classement par corps d'état
- pour chaque corps d'état, classer les tâches par débuts au plus tôt croissants



b) Prise en compte des relations entre tâches

La représentation de l'ensemble des relations entre tâches rend le graphique surchargé. Elle n'est d'ailleurs pas indispensable pour l'exploitation de celui-ci. Aussi, convient-il de ne représenter ses relations que pour les tâches dont les perturbations éventuelles auront le plus de conséquences, c'est à dire celles ayant de faibles marges libres.

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

c) Représentation des tâches critiques

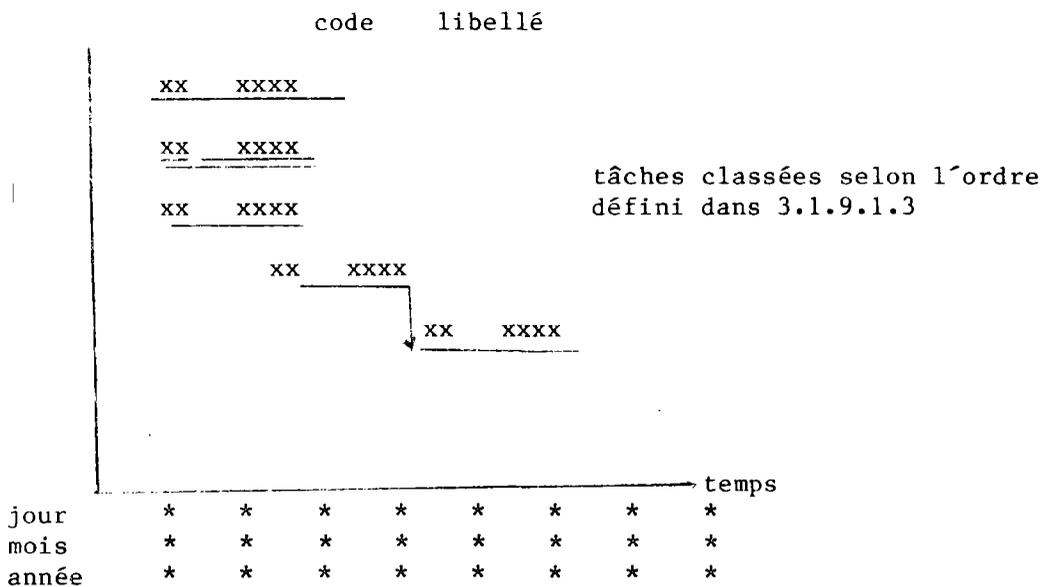
La distinction des tâches critiques est nécessaire pour l'exploitation du planning; le responsable du projet devrait le suivre de plus près, pour éviter tout retard éventuel qui se répercuterait sur le projet.

Cette distinction se fera ainsi :
 — tâche non critique
 = tâche critique

d) Autres informations

- délais : le calendrier calendaire est le plus significatif; il comprendra les jours, mois et années
- marges : les marges libres et totales seront représentées
- codes et libellés : la représentation de ces informations dans un tableau à gauche du diagramme, ainsi que cela se fait parfois, ne facilite pas la correspondance visuelle entre celles-ci et le diagramme, surtout si les tâches sont nombreuses et classées par leurs débuts au plus tôt croissants. Ces représentations seront donc reportées au dessus de leur diagramme respectif.

Le diagramme aura finalement l'aspect suivant (fig. 7.5)



fig; 7.5 Principe de représentation du diagramme GANTT

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

1.9.2 Courbes de charge

Les ressources peuvent être caractérisées par leur mode d'affectation.

1.9.2.1 Affectation avec réemploi

Par réemploi, on entend la possibilité de réaffecter une ressource à une nouvelle tâche, lorsque la tâche à laquelle elle était affectée précédemment est terminée. Ces ressources sont surtout constituées de matériel et de personnel, celle-ci, on l'a mentionné, faisant l'objet d'attentions particulières. Leurs courbes de charge doivent être établies éventuellement à chaque recalage, pour mettre bien en évidence les incidences d'un ordonnancement donné sur ces ressources.

Pour une catégorie de personnel donnée, la courbe de charge sera représentée par la fig. 7.6

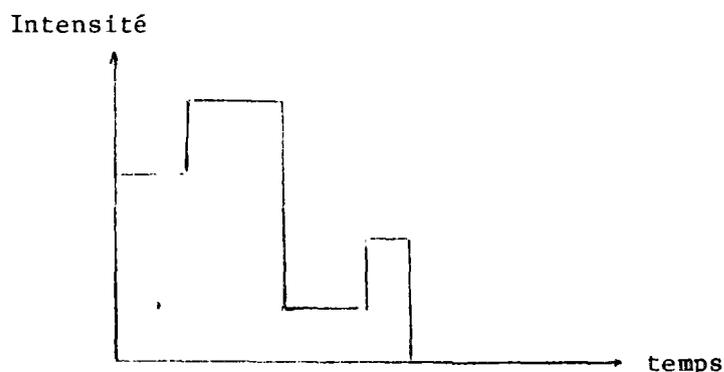


fig. 7.6 Courbe de charge d'une ressource constituée d'heures de personnel

Les données sont exprimées ici en jours ouvrables.

La représentation de courbes de charge pour le matériel ne présente pas d'intérêt, la détermination des intensités cumulées étant triviale, celui-ci étant souvent unitaire.

1.9.2.2 Affectation sans réemploi

Dans ce cas, une ressource se trouve affectée à une tâche au plus; c'est le cas des matériaux consommables. Il faut donc penser, après l'ordonnancement des tâches, à l'ordonnancement des matières ou gestion des stocks. Bien que la gestion des stocks ne fasse pas partie de notre travail, nous allons soulever brièvement quelques questions.

On doit, en effet, répondre à celles-ci : - quand approvisionner ?
- combien approvisionner ?

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

Or, souvent, avant de connaître l'ordonnement, les entreprises constituent des stocks d'approvisionnement. La pléthore des stocks n'empêche pas leur rupture, elle est même un signe de mauvaise gestion.

La gestion des stocks, qui a fait l'objet de nombreuses publications, ne semble pas trouver son application rigoureuse dans les entreprises de bâtiment. La recherche permanente du niveau optimal doit être également un objectif des responsables de projets.

Nous donnons ci-dessus un exemple de méthode graphique d'approvisionnement tiré de (45) (fig. 7.6). Cette méthode adoptée dans le cas de consommations très variables permet de travailler à la fois sur des quantités et des périodes variables mais nécessite d'avoir des éléments prévisionnels de consommation.

Sur un graphique annuel, sont portées en cumul :

- les sorties de stocks (jusqu'en mai)
- les entrées en stocks (en février)
- les prévisions de sorties

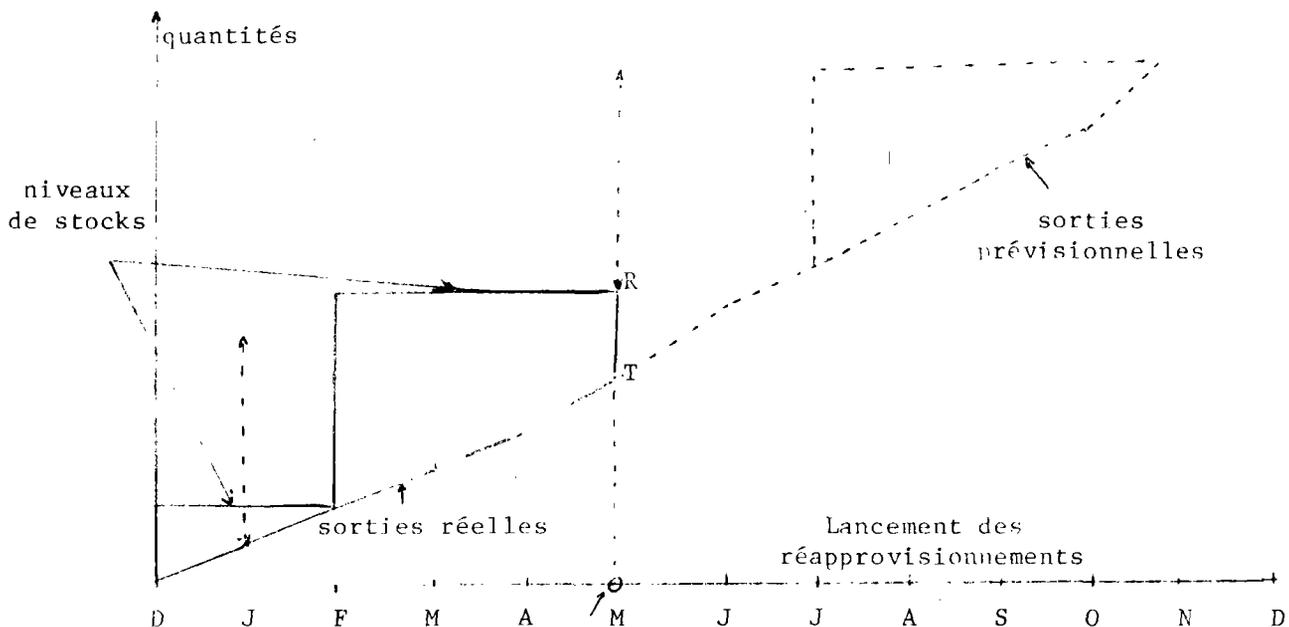


fig. 7.6 Méthode graphique de réapprovisionnement

Le segment TR représente la quantité réelle en stock à fin mai. Par contre, le graphique montre qu'une rupture de stock est prévisible pour fin juin. Si le délai d'approvisionnement des stocks est de 1 mois, il va falloir déclencher cet approvisionnement fin mai. La réception sera faite fin juin et les besoins couverts fin novembre.

INTEGRATION DES CONTRAINTES APRES ANALYSE

Les courbes de charge pour les ressources sans réemploi seront analogues à celle de la figure 7.6.

1.9.3 Graphe logique

Le graphe logique n'est pratiquement utilisé que par le concepteur de l'ordonnement. Bien renseigné (indication des marges et des durées), il permet d'apprécier les conséquences locales ou globales d'une décision. Son établissement peut donc présenter certains intérêts.

2. Conclusion

L'analyse des contraintes d'ordonnement résultant de nos contacts avec les entreprises montre que celles-ci sont nombreuses. Elle constitue un bilan qui définit les facteurs à prendre en compte dans un système d'ordonnement, délimitant ainsi le cadre du logiciel à mettre en oeuvre. Ces facteurs peuvent être résumés ainsi : objectifs du projet, politique d'exécution, disponibilité des moyens, considérations économiques.

CHAPITRE VIII

Présentation du logiciel

PRESENTATION DU LOGICIEL

Après ce bilan d'analyse, il convient de concevoir une structure générale pour la mise en place des résultats et propositions auxquelles il aboutit. Cette structure sera conçue comme un outil de gestion.

Selon les analyses modernes de gestion, l'entreprise est envisagée comme un système complexe qui peut être divisé en sous-systèmes composants*.

Notre structure pourrait aussi être considérée comme un sous-système de planning et ordonnancement. dans la perspective d'une gestion scientifique, il faut conserver une vue d'ensemble du système. S'agissant des PME, ce système peut se réduire éventuellement à cette seule structure.

1. Principe d'analyse du système

1.1 Priorité des objectifs

Les objectifs du système doivent représenter la matérialisation de l'idée générale des paramètres devant être atteints.

1.2 Orientation vers la solution efficace des problèmes d'ordonnancement

L'analyse du système à concevoir doit être canalisée vers les problèmes représentatifs d'ordonnancement qui se posent effectivement aux entreprises, en s'appuyant sur le bilan des enquêtes faites auprès de celles-ci, l'application des techniques d'ordonnancement ayant tendance à devenir un but en soi doit être évitée. Le bilan réalisé dans le chapitre précédent définit cette orientation.

1.3 Souplesse du système

La souplesse du système doit permettre à l'utilisateur d'avoir une certaine action sur celui-ci. L'effort d'exactitude des méthodes d'ordonnancement ne doit pas les rendre rigides comme méthodes de travail. Une certaine forme de communication est donc nécessaire entre le système et l'utilisateur. Sa conception dans un environnement en conversationnel est une option qui nous paraît appropriée pour répondre aux besoins spécifiques des utilisateurs. Le but est d'arriver à un outil final qui ne doit pas se limiter à mettre en oeuvre des calculs, mais doit prendre en considération la facilité de son utilisation.

* Ainsi, selon la fonction accomplie par l'entreprise, il existe par exemple : un système productif, un système informationnel-décisionnel et un système de relations humaines.

1.4 Capacité de gestion des données

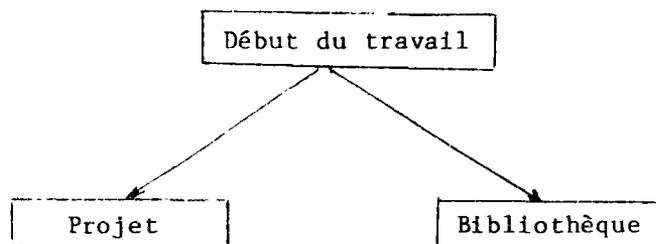
La mise en place d'un tel système requiert un certain ordre en ce qui concerne les données qui peuvent être nombreuses. Le système doit être capable de créer et gérer une base des données des projets.

1.5 Intégration

Comme nous l'avons déjà constaté (DUMÉZ), des informations relatives aux projets étudiés peuvent être disponibles dans d'autres services ou être demandées par ceux-ci. Il est donc souhaitable de rendre éventuellement compatible une utilisation commune d'une base de données propre à l'entreprise par des sous-systèmes ou services différents.

2. Mise en place du scénario

2.1 Début du scénario



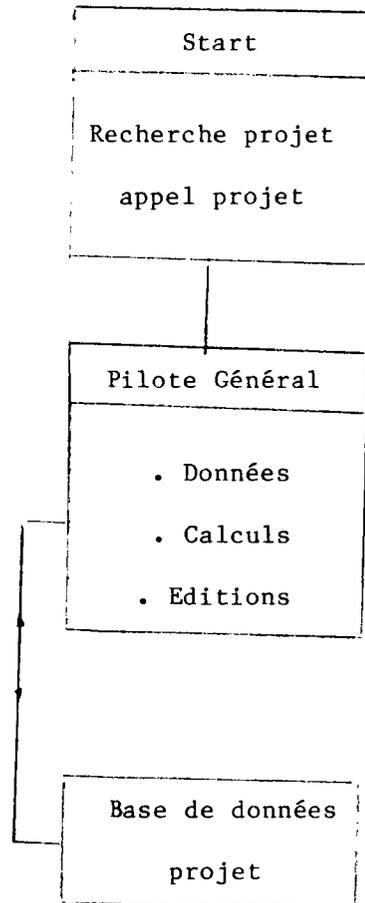
Le début du scénario consiste à orienter le début du travail de celui-ci. Nous voyons deux éléments à définir dans cette phase :

- le projet : il est soit nouveau (à créer) soit existant (déjà créé)
- bibliothèque : Cette bibliothèque est propre à l'utilisateur; elle est indépendante du projet.

Comme nous l'avons déjà mentionné, cette bibliothèque n'existera pas dans notre système.

2.2 Fonctionnement du scénario

2.2.1 Définitions et organisation des données élémentaires



Le scénario peut être considéré comme une suite ordonnée de traitements élémentaires.

Pour exécuter un traitement élémentaire, le système doit disposer d'un ensemble de données fournies par l'utilisateur. On peut distinguer trois sortes de données :

a) données de définitions :

elles précisent le type de traitement à réaliser (Ex. : problème central d'ordonnement)

b) données d'accès :

elles définissent les objets (ou enregistrements) concernés par l'opération (Ex. : la durée d'une tâche)

c) données de traitement :

elles définissent les modifications à apporter à ces objets. La nature de ces données implique en partie l'ordre dans lequel elles doivent être saisies. Par exemple, il ne faut pas saisir le coût d'un matériau si l'on n'est intéressé que par le problème de lissage de charge.

2.2.2 "guidage" dans la réalisation des traitements élémentaires

Dans un environnement en conversationnel, il est naturel de profiter de la présence "en ligne" de l'utilisateur pour lui demander de corriger immédiatement une donnée qu'il a fournie et qui n'est pas conforme à ce qu'attend le système, ou une donnée précédemment saisie et qu'il considère comme erronée. Ceci implique une organisation en succession de phases : saisie-vérification d'un ensemble de données, traitement sur cet ensemble.

2.3 Sélection et description des actions

2.3.1 Modularité des actions

Nous avons mentionné la diversité qui existe dans les entreprises pour la prise en compte de certains aspects d'ordonnancement.

Un logiciel qui prendrait en compte l'ensemble de ces problèmes risquerait de ne pas être opérationnel s'il ne comportait pas une certaine modularité à cause, notamment, de certaines données qui n'intéresseraient pas l'utilisateur ou qui ne seraient pas disponibles; des calculs non demandés risqueraient également d'être effectués.

La modularité a été choisie en ayant pour objectif de rendre exécutable des actions avec une certaine indépendance; elle donne une certaine souplesse d'utilisation du logiciel.

Ainsi, pour un même utilisateur, selon les problèmes rencontrés au cours de la vie d'un projet, il peut faire appel aux actions appropriées.

2.3.2 Sélection des actions

Le projet ayant été défini au début du scénario, la sélection des actions peut être représentée par la fig. 8.1

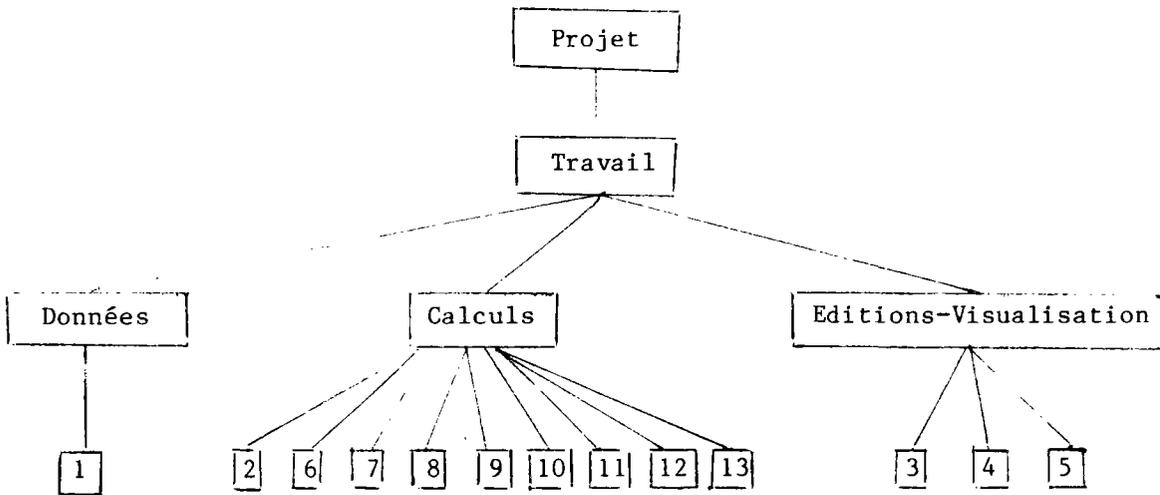


fig. 8.1

2.3.3 Description des actions

Les actions que nous allons décrire sont illustrées immédiatement par des copies de fonctionnement du logiciel.

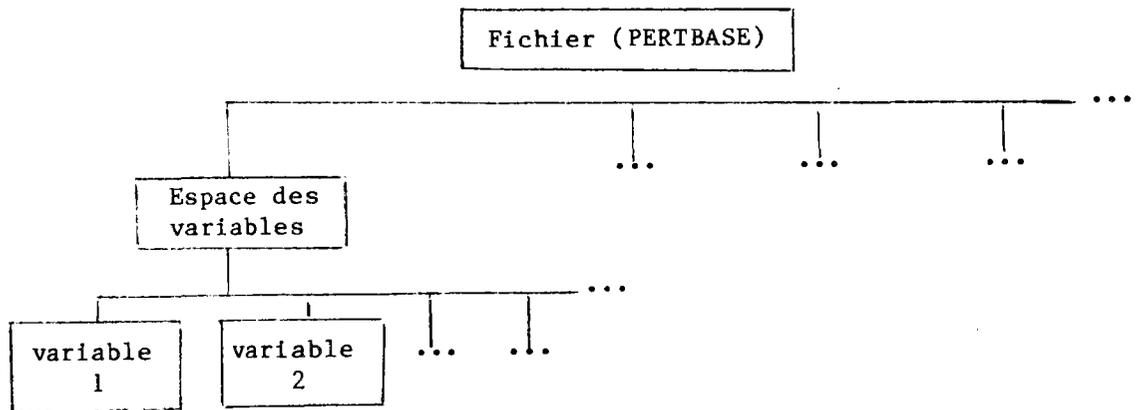
PRESENTATION DU LOGICIEL

Action 1 :

Cette section consiste en l'introduction des données strictement nécessaires pour toute action lorsque le projet est nouveau. Celles-ci sont mémorisées dans une base de données lorsque l'on veut conserver ce cas de projet; un nom lui étant alors attribué par l'utilisateur.

Lorsque ce projet n'est pas nouveau (déjà mémorisé), les données relatives à celui-ci sont recherchées dans la base et éventuellement modifiées.

Cette base de données est constituée par un fichier à accès direct. Il permet de mémoriser et de retrouver les variables (scalaires ou tableaux) par la seule donnée de leur nom et sans avoir à se préoccuper de l'emplacement réel où sont stockées ces variables (nom et valeur). Il est donc d'un usage simple pour sauver ou récupérer des données hétérogènes. la structure de ce fichier est la suivante :



PRESENTATION DU LOGICIEL

On peut donc gérer des variables de même nom sous plusieurs espaces différents sans qu'il y ait collision. Il est donc indispensable qu'en lecture ou écriture de variable, on ait toujours spécifié l'espace sous lequel on va travailler.

Les fonctions d'utilisation de ce fichier sont les suivantes :

- . prologue avant toute utilisation
- . écriture d'un espace
 - ouverture d'un nouvel espace
 - mémorisation d'une variable scalaire
 - mémorisation d'un tableau
 - fermeture d'un espace
- . recherche d'un espace
 - recherche de l'espace
 - recherche de la valeur d'une variable
 - recherche de la valeur d'un scalaire
 - fermeture de l'espace

Toutes ces fonctions sont constituées par des sous-programmes.

8.300.,
11.450.,
37.150.,
0.0.

MATERIAU NUMERO 2
.....

DONNEZ L'UNITE DE MESURE DE CE MOYEN 2

ML DONNEZ LE NUMERO DE LA TACHE COMPLEMENTAIRE DE CE MATERIAU N- 2 ET L'INTENSITE
PAR TACHE

POUR FINIR AVEC CE MATER. RENVOYER 0.0.
9.70.
13.870.,
41.180.,
0.0.

CATEGORIE DE PERSONNEL NU 1
.....

DONNEZ L'UNITE DE MESURE DE CE MOYEN 1

HEURE DONNEZ LE NUMERO DE LA TACHE UTILISATRICE DE CETTE CATEGORIE MUR SAISI QUE
L'INTENSITE PAR TACHE

POUR FINIR AVEC CETTE CATEGORIE. RENVOYER 0.0.
6.10.
9.20.
37.150.,
0.0.

CATEGORIE DE PERSONNEL NU 2
.....

DONNEZ L'UNITE DE MESURE DE CE MOYEN 2

HEURE DONNEZ LE NUMERO DE LA TACHE UTILISATRICE DE CETTE CATEGORIE MUR SAISI QUE
L'INTENSITE PAR TACHE

POUR FINIR AVEC CETTE CATEGORIE. RENVOYER 0.0.
9.12.
20.340.,
14.12.,
0.0.

CATEGORIE DE PERSONNEL NU 3
.....

DONNEZ L'UNITE DE MESURE DE CE MOYEN 3

HEURE DONNEZ LE NUMERO DE LA TACHE UTILISATRICE DE CETTE CATEGORIE MUR SAISI QUE
L'INTENSITE PAR TACHE

POUR FINIR AVEC CETTE CATEGORIE. RENVOYER 0.0.

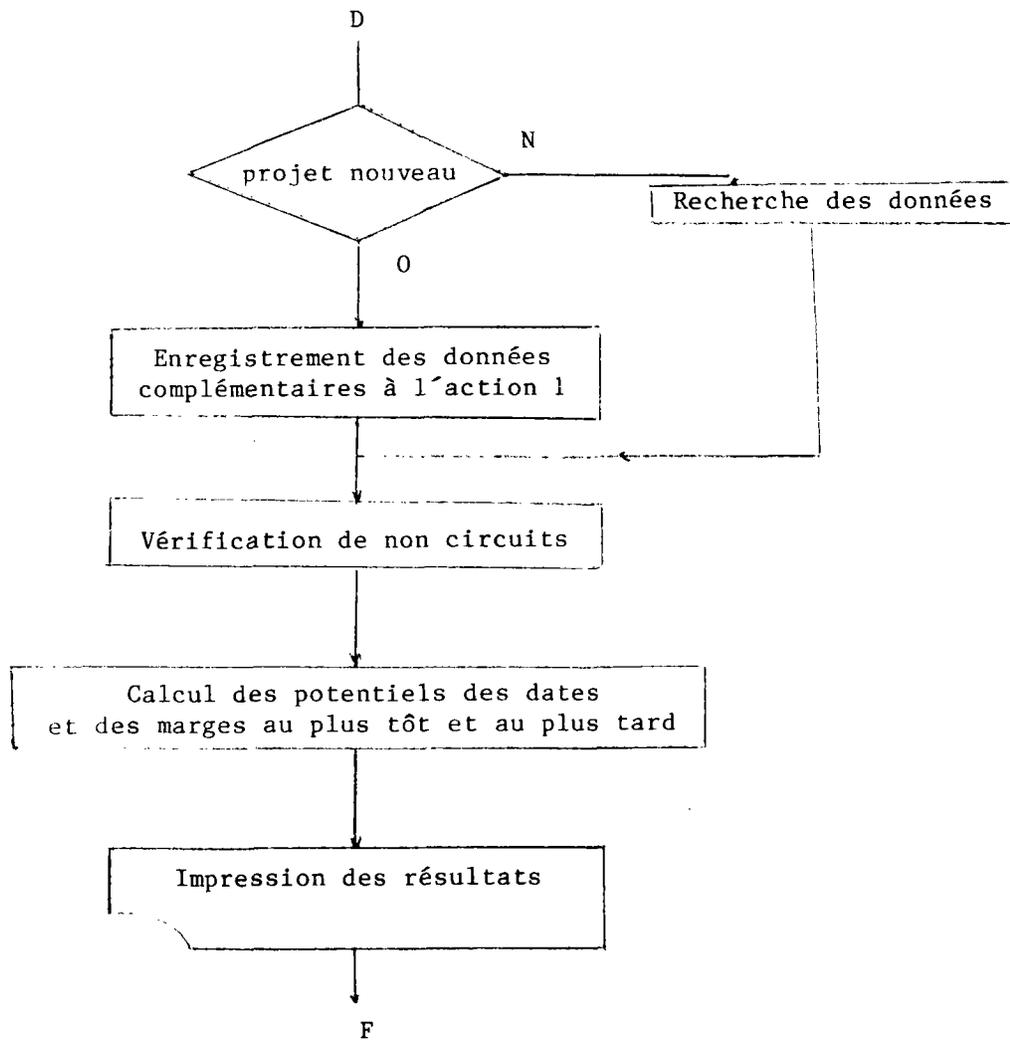
PRESENTATION DU LOGICIEL

Action 2

Rôle : résoudre le problème central d'ordonnement

En fonction de l'ordonnement arrêté des tâches, le système doit fournir au réalisateur les différents éléments d'appréciation relatifs au facteur temps de cet ordonnement. ces éléments sont constitués de potentiels au plus tôt et au plus tard, de marges et de la criticité des tâches.

Exigence : Les estimations de la durée des tâches, des contraintes entre tâches, de leur structure ouvrable et des dates imposées doivent être connues.



JM
 6.J.1.1.1) PERTES
 CE CAS REPRESENTE-T-IL UN NOUVEAU PROJET(O/N)
 N DONNEZ LE NOM DU PROJET
 Z08
 TITCAS
 CHECKS

PILOTE GENERAL

.....
 *INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES.....TAPPEZ 01
 *PROBLEME CENTRAL D'ORDONNEMENT.....TAPPEZ 02
 *DIAGRAMME GANTT.....TAPPEZ 03
 *COURSES DE CHARGE.....TAPPEZ 04
 *GRAPHE LOGIQUE.....TAPPEZ 05
 *QUANTIFICATION ET UNIFORMISATION DES RESSOURCES.....TAPPEZ 06
 *LISSAGE DE CHARGE.....TAPPEZ 07
 *NIVEAU.....TAPPEZ 08
 *S ANNUEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX.....TAPPEZ 09
 *RECALAGE DES DATES.....TAPPEZ 10
 *SITUATION DES TRAVAUX.....TAPPEZ 11
 *CONTROLE DE RESSOURCES.....TAPPEZ 12
 *FIN D UTILISATION DU PROGRAMME.....TAPPEZ 13

8. PAS DE CIRCUIT

.....
 * FIN DE L ACTION 8 *

PILOTE GENERAL

.....
 *INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES.....TAPPEZ 01
 *PROBLEME CENTRAL D'ORDONNEMENT.....TAPPEZ 02
 *DIAGRAMME GANTT.....TAPPEZ 03
 *COURSES DE CHARGE.....TAPPEZ 04
 *GRAPHE LOGIQUE.....TAPPEZ 05
 *QUANTIFICATION ET UNIFORMISATION DES RESSOURCES.....TAPPEZ 06
 *LISSAGE DE CHARGE.....TAPPEZ 07
 *NIVEAU.....TAPPEZ 08
 *S ANNUEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX.....TAPPEZ 09
 *RECALAGE DES DATES.....TAPPEZ 10
 *SITUATION DES TRAVAUX.....TAPPEZ 11
 *CONTROLE DE RESSOURCES.....TAPPEZ 12
 *FIN D UTILISATION DU PROGRAMME.....TAPPEZ 13

REGIATIONS - CORRELATIONS DES TACHES

SYMBOL	CODE	TACHES
* 1*	0000000000000000	TACHE EN TACHE
* 2*	0010000100200000	CONCRETE DE LIQUIDE
* 3*	0110000500100000	IME ANTISTATIFIQUE
* 4*	0031000700210010	ELEVEMENT DE CLAUDE
* 5*	0012001000110000	DEBRUYAGE
* 6*	0099000900000000	TRANCHEE POUR EVACUATION
* 7*	0010000140009000	MICROFILIERE
* 8*	0019000130011000	TRANCHEE POUR FONDATIONS
* 9*	0085000020000000	COSETE DE LIQUIDE SOUS M.
* 10*	0076000700140000	SABOT COMPACTE
* 11*	0034000900120000	LOCHERIES FEMELLES
* 12*	0027000900070000	GRAVES LOCHIERE
* 13*	0005000400100000	TRANCHEE D'EVACUATION RATIONNELLE
* 14*	0010000100200000	MISE EN PLACE DE CANNULATIONS
* 15*	0110000600180000	REPARATION DE CANNULATIONS
* 16*	0031000700210010	DESSATURE HANGAR+ANNEXES
* 17*	0018001800110000	ELEVATION DES ANNEXES
* 18*	0099000900000000	COLLE PH-ANNEXES
* 19*	0010000140009000	FOURREAU TELEPHONE
* 20*	0019000130011000	FOURREAU ELECTRICITE
* 21*	0085000020000000	DEBRUYAGE PAROISSIENS+FRUITES
* 22*	0076000700140000	MACONNERIES PAROISSIENS+FRUITES
* 23*	0014000900120000	VARIANTE VERRE ARME
* 24*	0055000400100000	DALLE ANNEXE SOL
* 25*	0010000100200000	DESSATURE ANNEXE ISOLATION
* 26*	0110000600180000	COULOIR EMPAISONS + HUISERIES
* 27*	0031000700210010	EQUIPEMENTS LOCAUX TECHNIQUES
* 28*	0018001800110000	CLIVES HYDROLABOURERS
* 29*	0099000900000000	ISOLATION - ITANCHETE HANGAR
* 30*	0011000140009000	CHASSES VITRES HANGAR
* 31*	0012000130011000	RYFAGE CHASSE VITRES ANNEXES
* 32*	0045000020000000	ETANCHEITE + ISOLATION ANNEXE
* 33*	0077000700140000	PLUMBAGE
* 34*	0134000900120000	TRAVAIL PLATRE
* 35*	0227000900070000	RENETRIMENT BOIS+MURS+PELLES
* 36*	0005000500100000	ESSAIS BOIS+MURS+PELLES
* 37*	0010000400000000	PAROISSIENS DE TROUSERS
* 38*	0110000700180010	CANNULATIONS EAU-AIR
* 39*	0031000700210010	RETRAVAIL HANGAR
* 40*	0018001800110000	VITRES ANNEXES+HANGAR
* 41*	0099000900000000	APPARELS SANITAIRES
* 42*	0010000240000000	MENAGERIES INTERNES
* 43*	0019000130011000	SAUX FUMES
* 44*	0085000020000000	ELECTRIQUE
* 45*	0076000700140000	ENRAGE PULSION
* 46*	0034000900120000	DALLE HANGAR
* 47*	0027000900070000	RENETRIMENT SOLS
* 48*	0037000900070010	PEINTURES ANNEXES
* 49*	0010000500100000	ACCESSOIRES SANITAIRES
* 50*	0130000600130000	ENGAGEMENT
* 51*	0012000130011000	MANGAGE SOL
* 52*	0002000000000000	NETTOYAGE SOL
* 53*	0000000000000000	TACHE FINALE DE FIN

CONTRAINTES RELATIVES DIFFERENTES DE ZERO
=====

DELT (2 , 3) = 30
DELT (3 , 4) = -1
DELT (5 , 5) = 50
DELT (5 , 7) = -5
DELT (6 , 8) = 9
DELT (7 , 10) = -10
DELT (7 , 11) = -2
DELT (8 , 11) = -9
DELT (9 , 12) = -4
DELT (9 , 13) = -2
DELT (11 , 14) = -3
DELT (16 , 21) = -5
DELT (16 , 22) = -10
DELT (16 , 23) = -5
DELT (22 , 23) = -5
DELT (20 , 28) = 15
DELT (21 , 29) = 12
DELT (23 , 30) = 12
DELT (29 , 30) = 1
DELT (25 , 31) = -3
DELT (32 , 31) = -7
DELT (26 , 35) = -9
DELT (29 , 38) = 4
DELT (37 , 41) = -1
DELT (34 , 42) = -6
DELT (42 , 43) = -8
DELT (44 , 45) = -4
DELT (41 , 48) = -4
DELT (42 , 48) = 9
DELT (43 , 49) = -3
DELT (47 , 52) = -2
DELT (48 , 50) = 2
=====

RESULTATS OPC ORIENT 510

NUM TOCHE	DO.	DA	EU	FA	MT	Y	NIR	A	CE
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	8	8	21	9	0	0	0	0	0
4	20	20	30	30	0	0	0	0	0
5	30	30	40	40	0	0	0	0	0
6	35	35	45	45	0	0	0	0	0
7	35	37	45	47	0	0	0	0	0
8	40	40	54	54	0	0	0	0	0
9	40	45	55	60	0	0	0	0	0
10	45	50	55	60	0	0	0	0	0
11	45	45	65	65	0	0	0	0	0
12	54	54	64	89	0	0	0	0	0
13	54	59	71	84	0	0	0	0	0
14	71	76	81	84	0	0	0	0	0
15	81	86	106	111	0	0	0	0	0
16	84	89	106	111	0	0	0	0	0
17	85	85	80	109	0	0	0	0	0
18	85	80	80	90	0	0	0	0	0
19	81	93	99	111	0	0	0	0	0
20	106	111	117	122	0	0	0	0	0
21	79	116	131	131	0	0	0	0	0
22	74	99	104	129	0	0	0	0	0
23	79	104	103	128	0	0	0	0	0
24	90	90	117	117	0	0	0	0	0
25	117	117	126	126	0	0	0	0	0
26	117	129	131	143	0	0	0	0	0
27	131	131	145	145	0	0	0	0	0
28	137	137	160	165	0	0	0	0	0
29	89	126	133	140	0	0	0	0	0
30	114	141	151	151	0	0	0	0	0
31	138	138	151	151	0	0	0	0	0
32	124	126	145	145	0	0	0	0	0
33	131	174	141	184	0	0	0	0	0
34	131	143	166	178	0	0	0	0	0
35	122	172	135	185	0	0	0	0	0
36	142	184	155	184	0	0	0	0	0
37	160	165	173	178	0	0	0	0	0
38	107	163	172	178	0	0	0	0	0
39	173	173	192	192	0	0	0	0	0
40	151	151	173	173	0	0	0	0	0
41	141	184	155	198	0	0	0	0	0
42	164	175	174	184	0	0	0	0	0
43	166	185	185	186	0	0	0	0	0
44	173	178	202	204	0	0	0	0	0
45	173	191	189	207	0	0	0	0	0
46	192	192	209	209	0	0	0	0	0
47	173	194	212	209	0	0	0	0	0
48	182	194	191	208	0	0	0	0	0
49	182	201	191	208	0	0	0	0	0
50	209	207	216	221	0	0	0	0	0
51	209	209	221	221	0	0	0	0	0
52	198	210	209	221	0	0	0	0	0
53	221	221	221	221	0	0	0	0	0

RESULTS OF NOISE SURVEY - 1984

NOISE SOURCE	NOISE LEVEL (dB)	DATE	TIME	LOCATION	REMARKS
1	7-84	3-7-84	7-94	7-84	7-84
2	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
3	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
4	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
5	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
6	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
7	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
8	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
9	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
10	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
11	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
12	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
13	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
14	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
15	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
16	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
17	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
18	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
19	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
20	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
21	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
22	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
23	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
24	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
25	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
26	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
27	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
28	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
29	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
30	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
31	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
32	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
33	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
34	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
35	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
36	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
37	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
38	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
39	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
40	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
41	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
42	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
43	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
44	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
45	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
46	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
47	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
48	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
49	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
50	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
51	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
52	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84
53	7-84	7-84	7-84	7-84	7-84

Action 3

Cette action consiste à visualiser le diagramme GANTT sur les terminaux BENSON ou écran TEKTRONIX en prenant en considération les éléments développés précédemment à ce sujet.

Si le projet n'est pas mémorisé dans la base, l'action 1 doit précéder celle-ci. dans le cas contraire, les données nécessaires sont recherchées dans cette base.

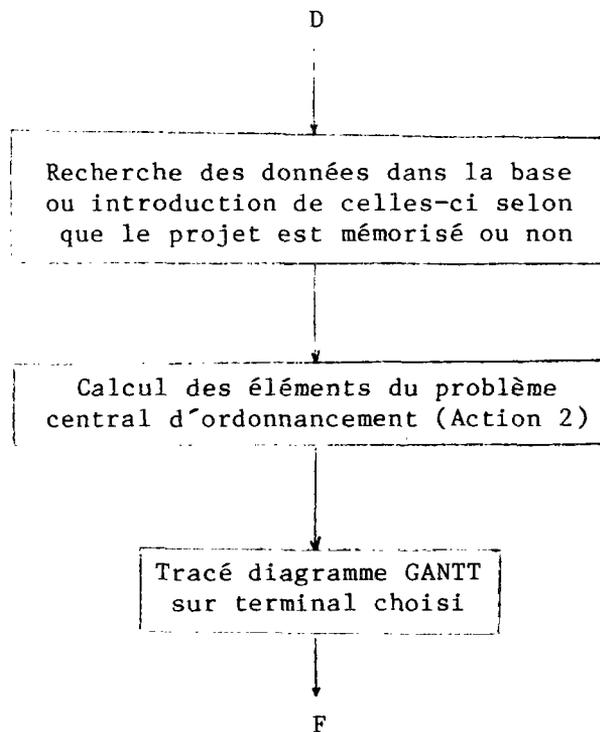


DIAGRAMME GANTT AU PLUS TOT

CONSTAT DES LIEUX

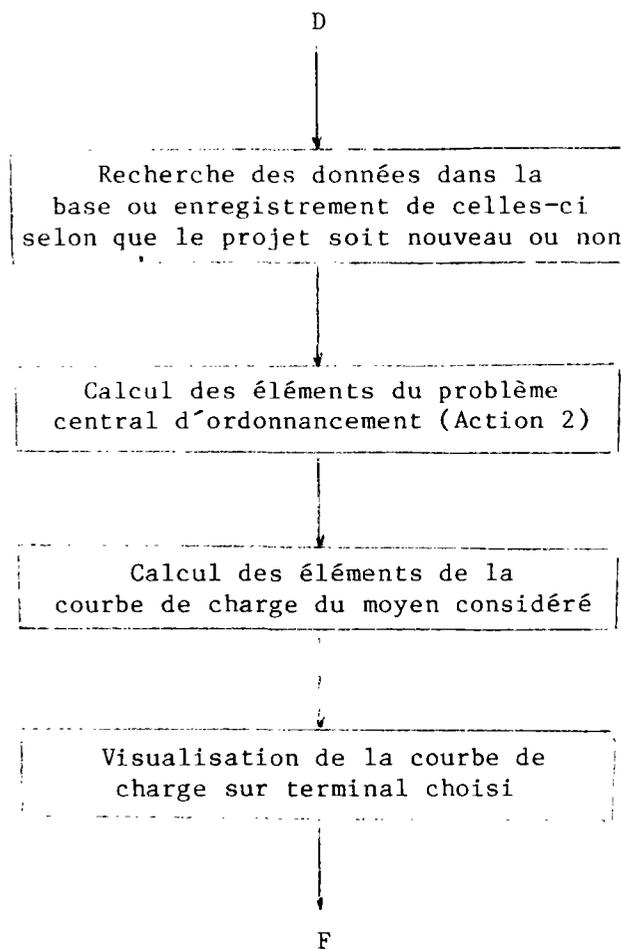
0150119	IMPLANTATION ET PLOUETAGE	0018001800110007	ELEVATION DES ANNEXES
0021000700210013	ENLEVEMENT DE CLCTURE	0010000100200004	MISE EN PLACE DE CANALISATION
0015002000110004	DEMOLITION ET NIVELLEMENT	0076000700140004	MACHINERIES PARPAIGNS+ENTRETIENS
00140009001	MICRO-PIEUX	0024000900120003	BARDAGE +VERRE ARME
0039000900160022	TRANCHEES POUR EVACUATION	00251006002300022	OUVERTURES, BANCHEES, PNEUMATIQUES
00251006002300022	POSE DE CANALISATIONS SOUS H	0110000200150015	REMBLAIS+COMPACTAGE
0019000130011005	TRANCHEES POUR FONDATION	0016000200020003	FOURREAUX +LESTONS
0024000900120009	LONCRINES SEMELES	0099000900000000	ISOLEMENT ET ANCHETTE HANGAR
0076000700150005	SABOT+COMPACTAGE	001900001300110008	FOURREAUX +LESTONS
00250004001100002	TRANCHEES D'EVACUATION BATIMENT	0011000147000000	HANGAR
0027000900970010	GRAVES, LAITIERS		
0021000700210011	USATURE HONGAR+ANNEXES		

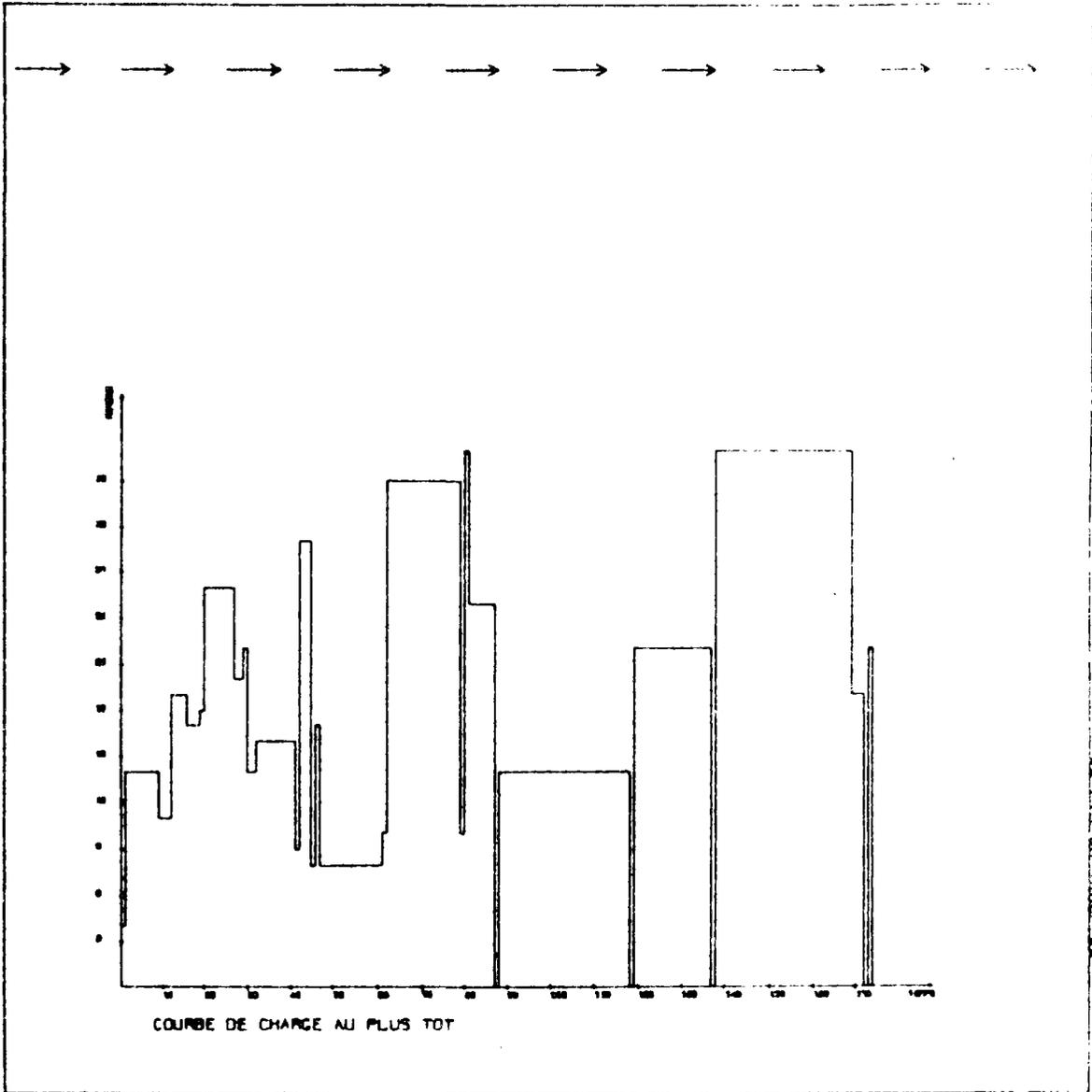
PRESENTATION DU LOGICIEL

Action 4

Cette action consiste à visualiser la courbe de charge sur écran TEKTRONIX ou traceur BENSON. Dans l'état actuel du programme, elles ne sont obtenues que pour une seule catégorie de moyens (personnel).

Si le projet n'est pas mémorisé dans la base, l'action 1 doit précéder cette action.





COMMANDES

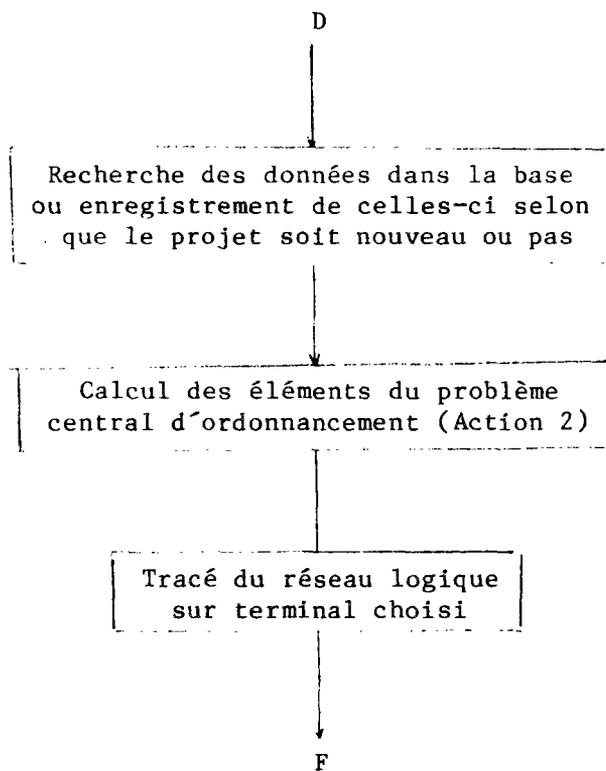
- TAPER
- 1- BLOC SUIVANT
 - 2- ZOOM
 - 3- BLOC QUELCONQUE
 - 4- ESPACE STANDARD
 - 5- ROTATION
 - 6- DEFILÉ FENÊTRE
 - 7- S.O.S.
 - 8- TOUT ÉCRAN
 - 9- ARRÊT
- PUIS (CR) :

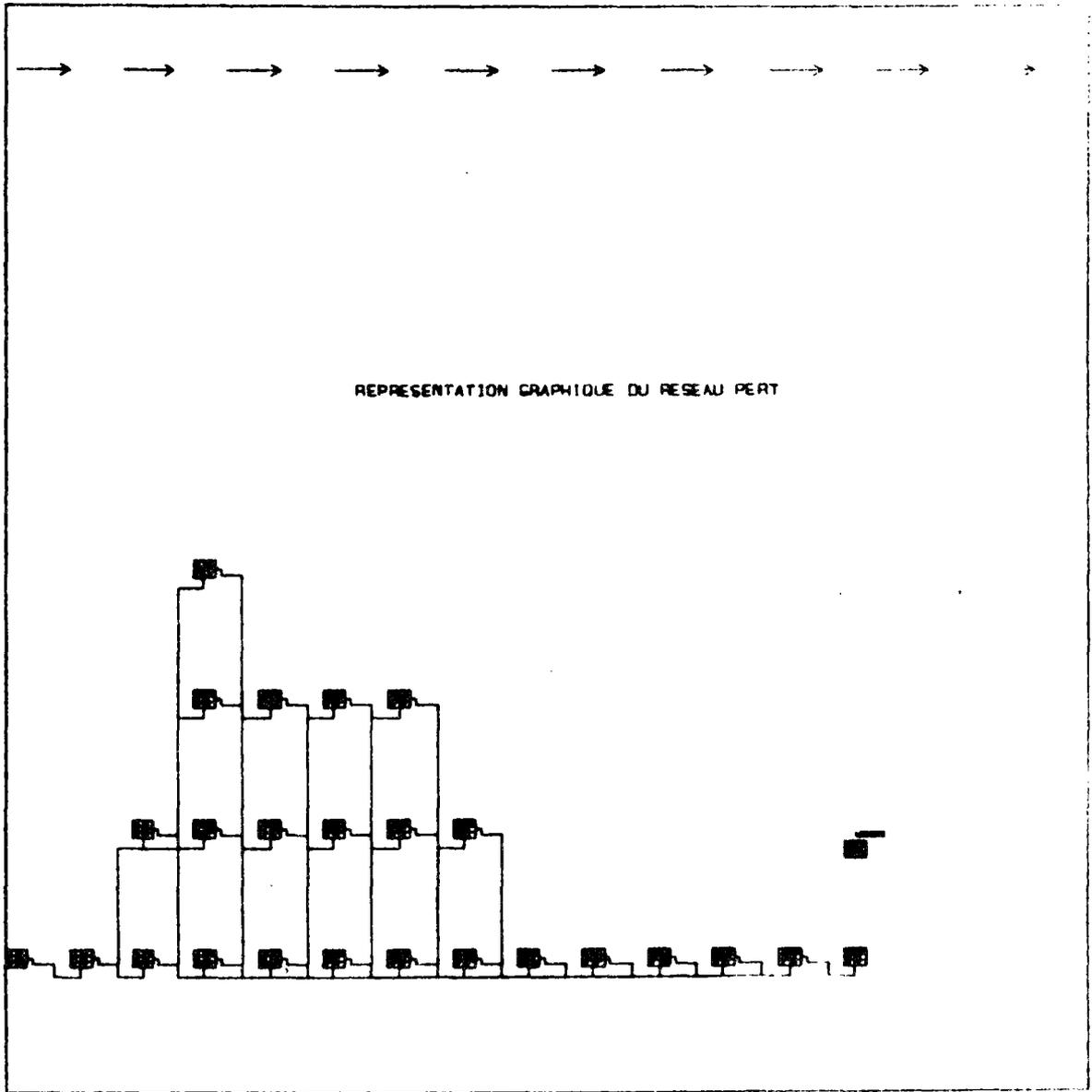
Exemple de visibilité de l'action 4 obtenu sur T402001

Action 5

Cette action consiste à visualiser le graphe du réseau logique des tâches sur écran Tektronix ou traceur Benson.

De même que pour les actions 3 et 4, l'action 1 doit précéder cette action dans le cas d'un projet non mémorisé.





REPRESENTATION GRAPHIQUE DU RESEAU PERT

COMMANDES

TAPER

- 1. BLOC SUIVANT
- 2. ZOOM
- 3. BLOC QUELCONQUE
- 4. ESPACE STANDARD
- 5. ROTATION
- 6. DEFILÉ FENÊTRE
- 7. S.O.S.
- 8. TOUT ÉCRAN
- 9. ARRÊT

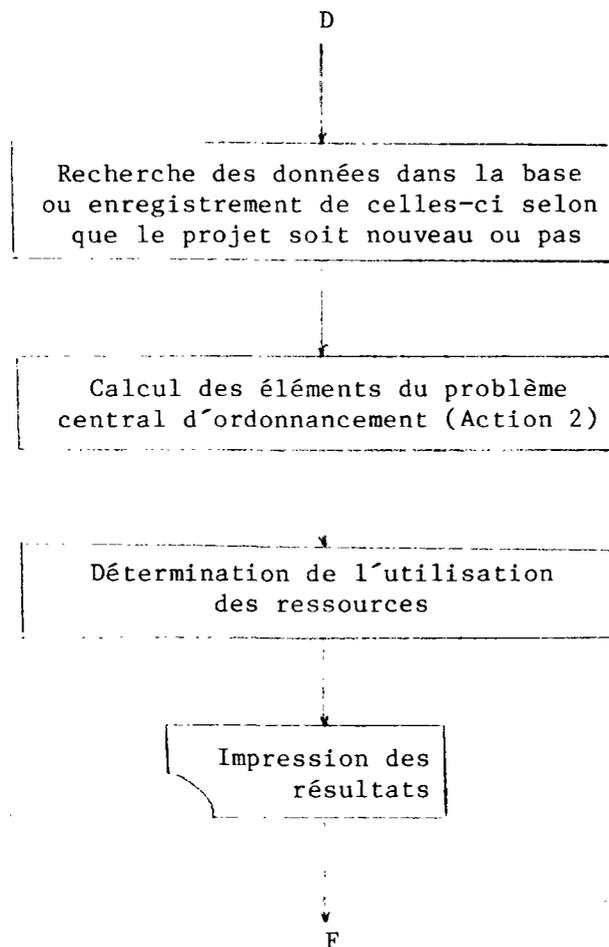
PUIS 'CR' :

Act 4.5. Exemple de vesubial.

PRESENTATION DU LOGICIEL.

Action 6

Le rôle de cette action est de déterminer (en quantité et en valeur) l'utilisation des ressources. les résultats sont obtenus sous forme de tableaux, les jours utilisés étant les jours ouvrables.



13. VOULEZ-VOUS SAUVEZ LE CAS (O/N)

M
FORTRAN STOP
\$ RUN
\$ _fill: PERTES
CE CAS REPRESENTE-T-IL UN NOUVEAU PROJET(O/N)
M
DONNEZ LE NOM DU PROJET
ZK2
TRTCAS
CHECAS

PILOTE GENERAL

.....
-INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES-----TAPPEZ 01-
-PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT-----TAPPEZ 02-
-DIAGRAMME GANTT-----TAPPEZ 03-
-COURSES DE CHARGE-----TAPPEZ 04-
-GRAPHE LOGIQUE-----TAPPEZ 05-
-QUANTIFICATION ET VALORISATION DES RESSOURCES-----TAPPEZ 06-
-LISSAGE DE CHARGE-----TAPPEZ 07-
-NIVEAU-----TAPPEZ 08-
-S'AVANCEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX-----TAPPEZ 09-
-RECHARGE DES DATES-----TAPPEZ 10-
-SITUATION DES TRAVAUX-----TAPPEZ 11-
-CONTROLE DE RESSOURCES-----TAPPEZ 12-
-FIN D'UTILISATION DU PROGRAMME-----TAPPEZ 13-
.....

6. PAS DE CIRCUIT

.....
- FIN DE L'ACTION 6 -
.....

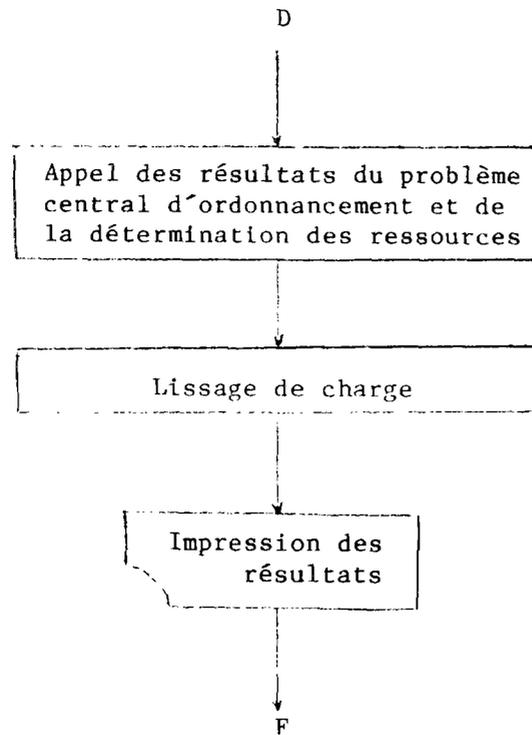
PILOTE GENERAL

.....
-INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES-----TAPPEZ 01-
-PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT-----TAPPEZ 02-
-DIAGRAMME GANTT-----TAPPEZ 03-
-COURSES DE CHARGE-----TAPPEZ 04-
-GRAPHE LOGIQUE-----TAPPEZ 05-
-QUANTIFICATION ET VALORISATION DES RESSOURCES-----TAPPEZ 06-
-LISSAGE DE CHARGE-----TAPPEZ 07-
-NIVEAU-----TAPPEZ 08-
-S'AVANCEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX-----TAPPEZ 09-
-RECHARGE DES DATES-----TAPPEZ 10-
-SITUATION DES TRAVAUX-----TAPPEZ 11-
-CONTROLE DE RESSOURCES-----TAPPEZ 12-
-FIN D'UTILISATION DU PROGRAMME-----TAPPEZ 13-
.....

Action 6 : pas de données complémentaires à saisir

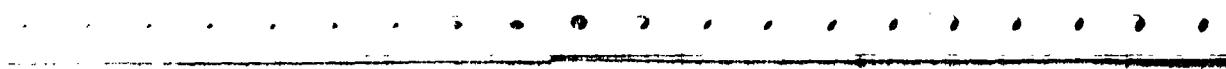
Action 7

Le rôle de cette action est le lissage de charge, pour un ordonnancement donné. Elle est basée sur l'application de la notion de créneaux, étudiée dans la partie A de ce travail.



THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY
540 EAST 57TH STREET
CHICAGO, ILL. 60637
TEL. 773-936-3700

1

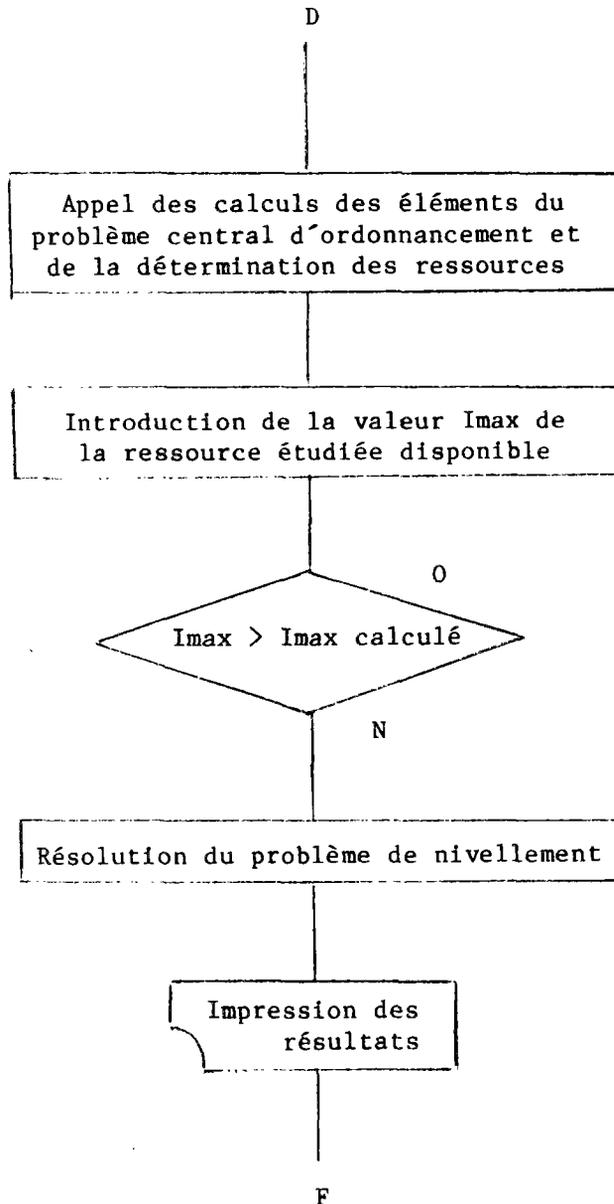


Action 8

Cette action a pour objet de résoudre le problème de nivellement : elle est basée sur l'application d'une méthode non chronologique telle qu'elle a été étudiée dans la partie A de ce rapport.

Cette action est sollicitée lorsque l'utilisateur doute de la présence éventuelle de ce problème en fonction de l'ordonnancement des tâches et de la disponibilité des ressources.

Dans la phase actuelle du programme, un seul critère est utilisé, celui de la marge totale.



RUN PERT20
 S_F1101
 CE CAS REPRESENTE-T-IL UN NOUVEAU PROJET(O/N)
 H DONNEZ LE NOM DU PROJET

Z03
 TITCAS
 CHECAS

PILOTE GENERAL

.....
 -INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES.....TAPPEZ 01-
 -PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT.....TAPPEZ 02-
 -BILAN DU CAS.....TAPPEZ 03-
 -COURSES DE CHARGE.....TAPPEZ 04-
 -ORGANISATION LOGIQUE.....TAPPEZ 05-
 -QUANTIFICATION ET VALORISATION DES RESSOURCES.....TAPPEZ 06-
 -LISSAGE DE CHARGE.....TAPPEZ 07-
 -NIVEAU.....TAPPEZ 08-
 -S ANNANCEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX.....TAPPEZ 09-
 -REGLAGE DES DATES.....TAPPEZ 10-
 -SITUATION DES TRAVAUX.....TAPPEZ 11-
 -CONTROLE DE RESSOURCES.....TAPPEZ 12-
 -FIN D'UTILISATION DU PROGRAMME.....TAPPEZ 13-

9. PAS DE CIRCUIT
 DONNEZ LA VALEUR IMAX DE VOTRE RESSOURCE
 Z00.

.....
 * FIN DE L'ACTION 9 *

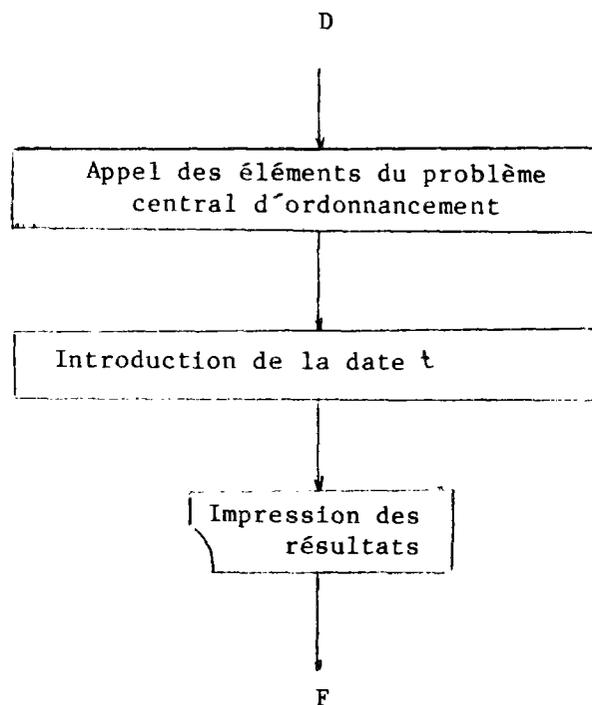
PILOTE GENERAL

.....
 -INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES.....TAPPEZ 01-
 -PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT.....TAPPEZ 02-
 -BILAN DU CAS.....TAPPEZ 03-
 -COURSES DE CHARGE.....TAPPEZ 04-
 -ORGANISATION LOGIQUE.....TAPPEZ 05-
 -QUANTIFICATION ET VALORISATION DES RESSOURCES.....TAPPEZ 06-
 -LISSAGE DE CHARGE.....TAPPEZ 07-
 -NIVEAU.....TAPPEZ 08-
 -S ANNANCEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX.....TAPPEZ 09-
 -REGLAGE DES DATES.....TAPPEZ 10-
 -SITUATION DES TRAVAUX.....TAPPEZ 11-
 -CONTROLE DE RESSOURCES.....TAPPEZ 12-
 -FIN D'UTILISATION DU PROGRAMME.....TAPPEZ 13-

Action 9: la valeur Imax du moyen consideree est introduite.
 Les resultats de sortie sont analogues à ceux obtenus par l'action 2

Action 9

Le rôle de cette action est de donner les avancements théoriques de travaux à une date donnée t . Elle fait ressortir le pourcentage d'avancement des tâches qui devraient être en exécution, les tâches non commencées et les tâches terminées.



RUN
 8.F.1101 PERTIS
 M CE CAS REPRESENTE-T-IL UN NOUVEAU PROJET(O/N)
 M DONNEZ LE NBR DU PROJET
 ZXE
 TRTCAS
 CHECAS

PILOTE GENERAL

.....
 -INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES.....
 -PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT.....
 -DIAGRAMME GANTT.....
 -COURSES DE CHARGE.....
 -GRAPHIE LOGIQUE.....
 -QUANTIFICATION ET VALORISATION DES RESSOURCES.....
 -LISSAGE DE CHARGE.....
 -NIVEAU.....
 -S'AVANCEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX.....
 -RECALAGE DES DATES.....
 -SITUATION DES TRAVAUX.....
 -CONTROLE DE RESSOURCES.....
 -FIN D'UTILISATION DU PROGRAMME.....

00, PAS DE CIRCUIT

RESULTATS PREVISIONNELS

DONNEZ LA DATE (JOUR,MOIS,ANNEE) A LAQUELLE VOUS VOULEZ REALISER CETTE MISE A JO
 UR
 11.12.84,

.....
 - FIN DE L'ACTION 9 ..

PILOTE GENERAL

.....
 -INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES.....
 -PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT.....
 -DIAGRAMME GANTT.....
 -COURSES DE CHARGE.....
 -GRAPHIE LOGIQUE.....
 -QUANTIFICATION ET VALORISATION DES RESSOURCES.....
 -LISSAGE DE CHARGE.....
 -NIVEAU.....
 -S'AVANCEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX.....
 -RECALAGE DES DATES.....
 -SITUATION DES TRAVAUX.....
 -CONTROLE DE RESSOURCES.....
 -FIN D'UTILISATION DU PROGRAMME.....

Action 3 - la date tuelle ou souhaite connaître les prévisions techniques est soisic

1	100.000	*
2	100.000	*
3	100.000	*
4	100.000	*
5	100.000	*
6	100.000	*
7	100.000	*
8	100.000	*
9	100.000	*
10	100.000	*
11	100.000	*
12	100.000	*
13	100.000	*
14	100.000	*
15	100.000	*
16	100.000	*
17	100.000	*
18	100.000	*
19	100.000	*
20	100.000	*
21	100.000	*
22	100.000	*
23	100.000	*
24	100.000	*
25	100.000	*
26	100.000	*
27	100.000	*
28	100.000	*
29	100.000	*
30	100.000	*
31	100.000	*
32	100.000	*
33	100.000	*
34	100.000	*
35	100.000	*
36	100.000	*
37	100.000	*
38	100.000	*
39	100.000	*
40	100.000	*
41	100.000	*
42	100.000	*
43	100.000	*
44	100.000	*
45	100.000	*
46	100.000	*
47	100.000	*
48	100.000	*
49	100.000	*
50	100.000	*
51	100.000	*
52	100.000	*
53	100.000	*
54	100.000	*
55	100.000	*

ATTACHER EN COURS D'EXECUTION

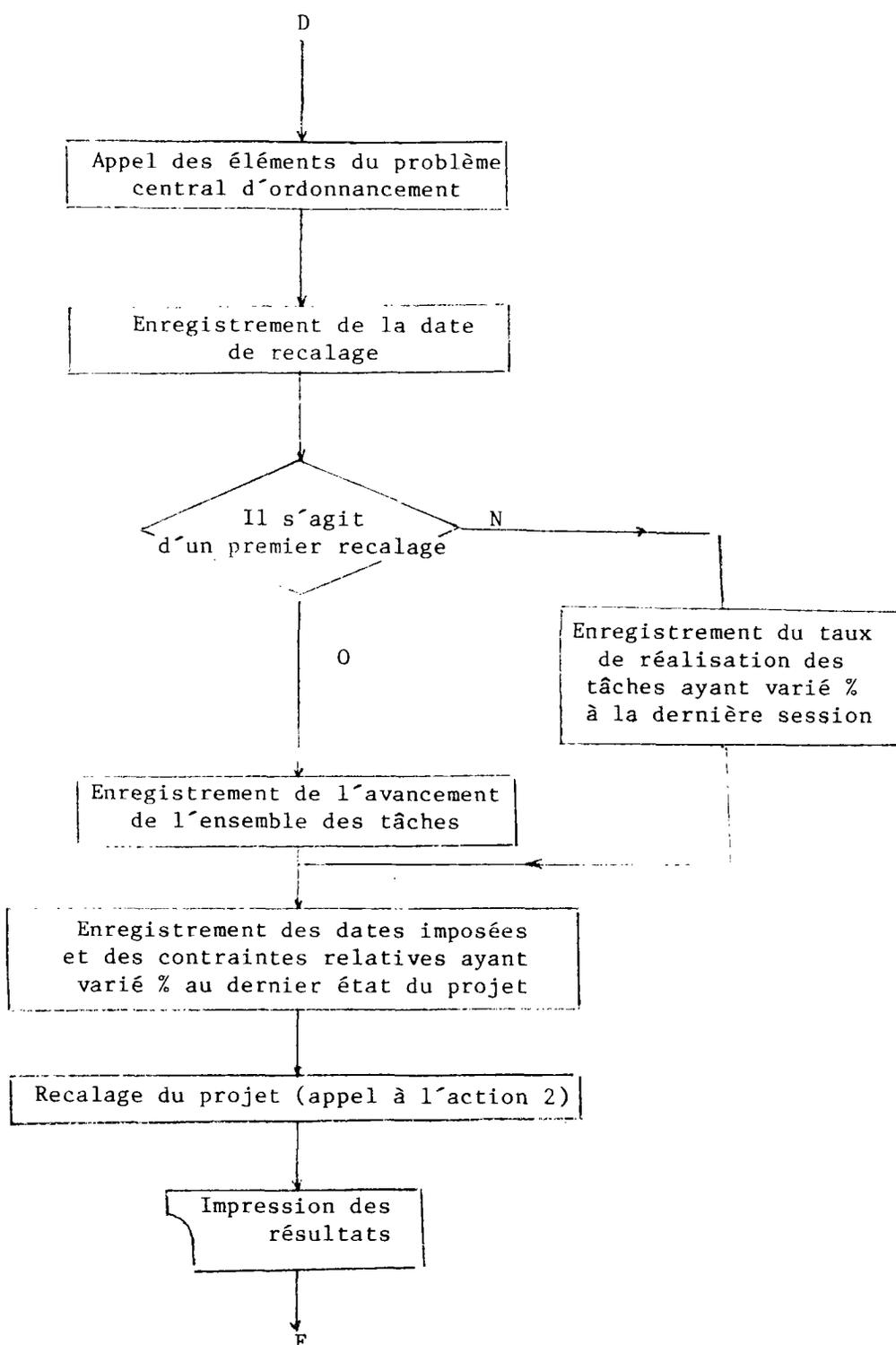
18	99.12%	*
19	99.12%	*
20	99.12%	*
21	99.12%	*
22	99.12%	*
23	99.12%	*
24	99.12%	*
25	99.12%	*
26	99.12%	*
27	99.12%	*
28	99.12%	*
29	99.12%	*
30	99.12%	*
31	99.12%	*
32	99.12%	*
33	99.12%	*
34	99.12%	*
35	99.12%	*
36	99.12%	*
37	99.12%	*
38	99.12%	*
39	99.12%	*
40	99.12%	*
41	99.12%	*
42	99.12%	*
43	99.12%	*
44	99.12%	*
45	99.12%	*
46	99.12%	*
47	99.12%	*
48	99.12%	*
49	99.12%	*
50	99.12%	*
51	99.12%	*
52	99.12%	*
53	99.12%	*
54	99.12%	*
55	99.12%	*

STATES NON COMMENCEES

1	0.00%	*
2	0.00%	*
3	0.00%	*
4	0.00%	*
5	0.00%	*
6	0.00%	*
7	0.00%	*
8	0.00%	*
9	0.00%	*
10	0.00%	*
11	0.00%	*
12	0.00%	*
13	0.00%	*
14	0.00%	*
15	0.00%	*
16	0.00%	*
17	0.00%	*
18	0.00%	*
19	0.00%	*
20	0.00%	*
21	0.00%	*
22	0.00%	*
23	0.00%	*
24	0.00%	*
25	0.00%	*
26	0.00%	*
27	0.00%	*
28	0.00%	*
29	0.00%	*
30	0.00%	*
31	0.00%	*
32	0.00%	*
33	0.00%	*
34	0.00%	*
35	0.00%	*
36	0.00%	*
37	0.00%	*
38	0.00%	*
39	0.00%	*
40	0.00%	*
41	0.00%	*
42	0.00%	*
43	0.00%	*
44	0.00%	*
45	0.00%	*
46	0.00%	*
47	0.00%	*
48	0.00%	*
49	0.00%	*
50	0.00%	*
51	0.00%	*
52	0.00%	*
53	0.00%	*
54	0.00%	*
55	0.00%	*

Action 10

Cette action consiste à effectuer le recalage des dates, en fonction de l'état d'avancement et des contraintes du projet.



.....-CONTROLE DE RESSOURCES-..... TAPPEZ 18-
.....-FIN D UTILISATION DU PROGRAMME-..... TAPPEZ 13-
.....

RUN S.F.11e1 PERT20
N CE CAS REPRESENTE-T-IL UN NOUVEAU PROJET(O/N)
ZXB DONNEZ LE NBR DU PROJET
TRTCAS
CHECAS

.....PILOTE GENERAL
.....
.....INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES..... TAPPEZ 01-
.....-PROBLEME CENTRAL D ORDONNANCEMENT..... TAPPEZ 02-
.....-DIAGRAMME GANTT..... TAPPEZ 03-
.....-COURSES DE CHARGE..... TAPPEZ 04-
.....-GRANPE LOGIQUE..... TAPPEZ 05-
.....-QUANTIFICATION ET VALORISATION DES RESSOURCES..... TAPPEZ 06-
.....-LISSAGE DE CHARGE..... TAPPEZ 07-
.....-NIVEAU..... TAPPEZ 08-
.....-N AVANCEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX..... TAPPEZ 09-
.....-RECALAGE DES DATES..... TAPPEZ 10-
.....-SITUATION DES TRAVAUX..... TAPPEZ 11-
.....-CONTROLE DE RESSOURCES..... TAPPEZ 12-
.....-FIN D UTILISATION DU PROGRAMME..... TAPPEZ 13-
.....

10. MODULE DE RECALAGE DES DATES
.....
..... DONNEZ LA DATE DE RECALAGE (.JOUR,MOIS,ANNEE)
11.18.84, IL SAGIT DU PREMIER RECALAGE(O/N)
N
..... DONNEZ LE NBR DE CHARGE TACHE J AINSI QUE SON TRADUI CELUI-CI-A VARIE
X A LA FOIS PRECEDENTE
48.0.30.
38.0.85.
88.0.33.
0.0.

EE
0.0. EN CAS DE MODIFICATIONS DES CONTRAINTES RELATIVES, DONNEZ I.J. ET DELT(I.J)
0.0. PMS DE CIRCUIT
.....
..... FIN DE L ACTION 10

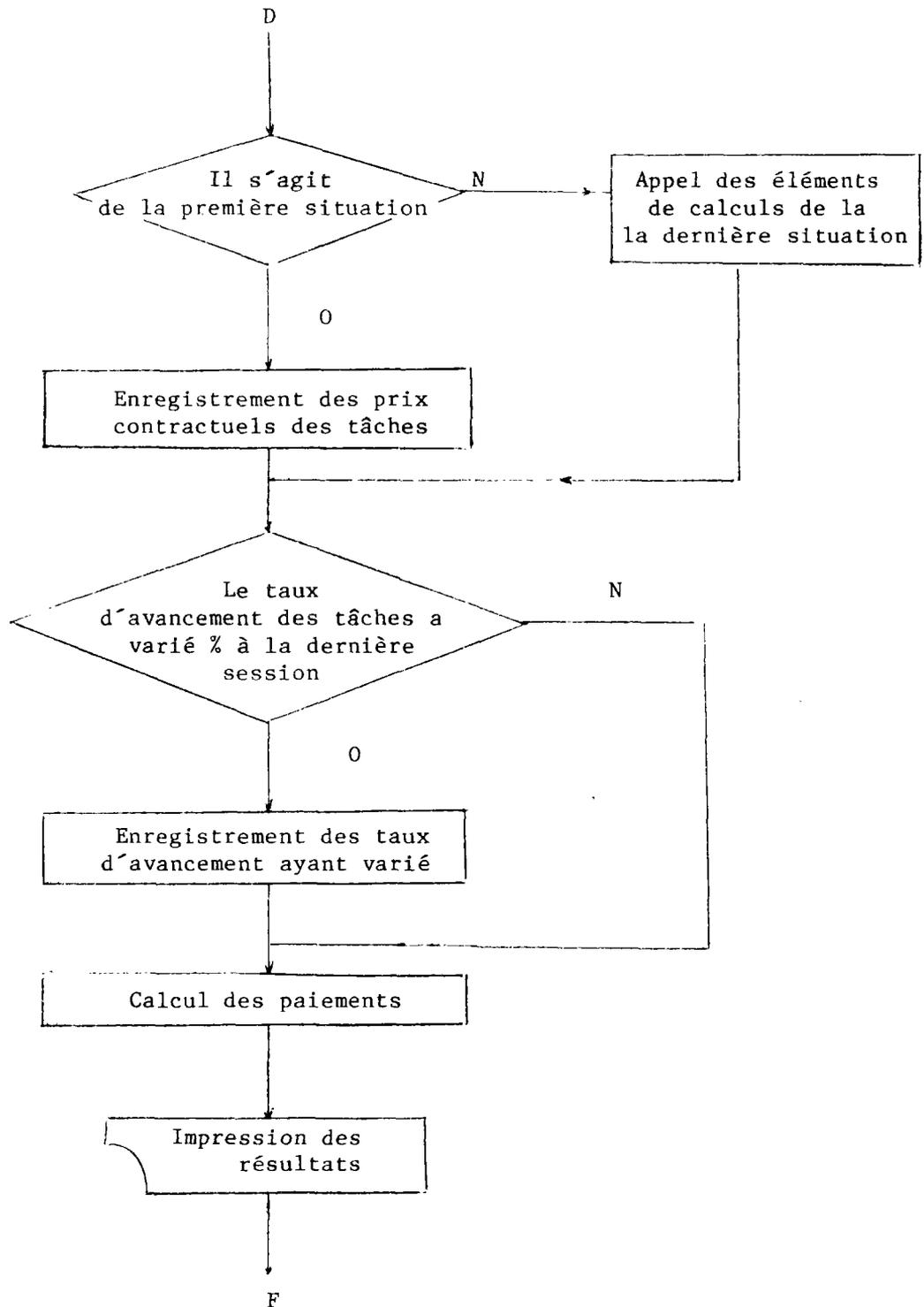
.....PILOTE GENERAL
.....
.....INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES..... TAPPEZ 01-
.....-PROBLEME CENTRAL D ORDONNANCEMENT..... TAPPEZ 02-
.....-DIAGRAMME GANTT..... TAPPEZ 03-
.....-COURSES DE CHARGE..... TAPPEZ 04-
.....-GRANPE LOGIQUE..... TAPPEZ 05-
.....-QUANTIFICATION ET VALORISATION DES RESSOURCES..... TAPPEZ 06-
.....-LISSAGE DE CHARGE..... TAPPEZ 07-
.....-NIVEAU..... TAPPEZ 08-
.....-N AVANCEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX..... TAPPEZ 09-
.....-RECALAGE DES DATES..... TAPPEZ 10-
.....-SITUATION DES TRAVAUX..... TAPPEZ 11-
.....

Action 10

PRESENTATION DU LOGICIEL

Action 11

Cette action a pour rôle d'établir les paiements mensuels. Elle suppose que les tâches ont été valorisées.



JN
 8. File! PENTIS
 2. DE CAS REPRESENTE-T-IL UN NOUVEAU PROJET(O/N)
 N DONNEZ LE NOM DU PROJET
 ZNS
 TITRES
 CHEONS

PILOTE GENERAL

.....
 -INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES..... TAPPEZ 01
 -PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT..... TAPPEZ 02
 -DIAGRAMME GANTT..... TAPPEZ 03
 -COURSES DE CHARGE..... TAPPEZ 04
 -GRAPHES LOGIQUES..... TAPPEZ 05
 -QUANTIFICATION ET VALORISATION DES RESSOURCES..... TAPPEZ 06
 -LISSAGE DE CHARGE..... TAPPEZ 07
 -NIVEAU..... TAPPEZ 08
 -S'AVANCEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX..... TAPPEZ 09
 -RECALAGE DES DATES..... TAPPEZ 10
 -SITUATION DES TRAVAUX..... TAPPEZ 11
 -CONTROLE DE RESSOURCES..... TAPPEZ 12
 -FIN D'UTILISATION DU PROGRAMME..... TAPPEZ 13

11.

CALCUL DES PAYEMENTS PERIODELS

.....
 EST-CE-LA PREMIERE SITUATION(O/N)

.....

N LE TOUR DE REALISATION A VARIE 3 A LA DERNIERE SESSION(O/N)

.....

..... FIN DE L'ACTION 11

.....

PILOTE GENERAL

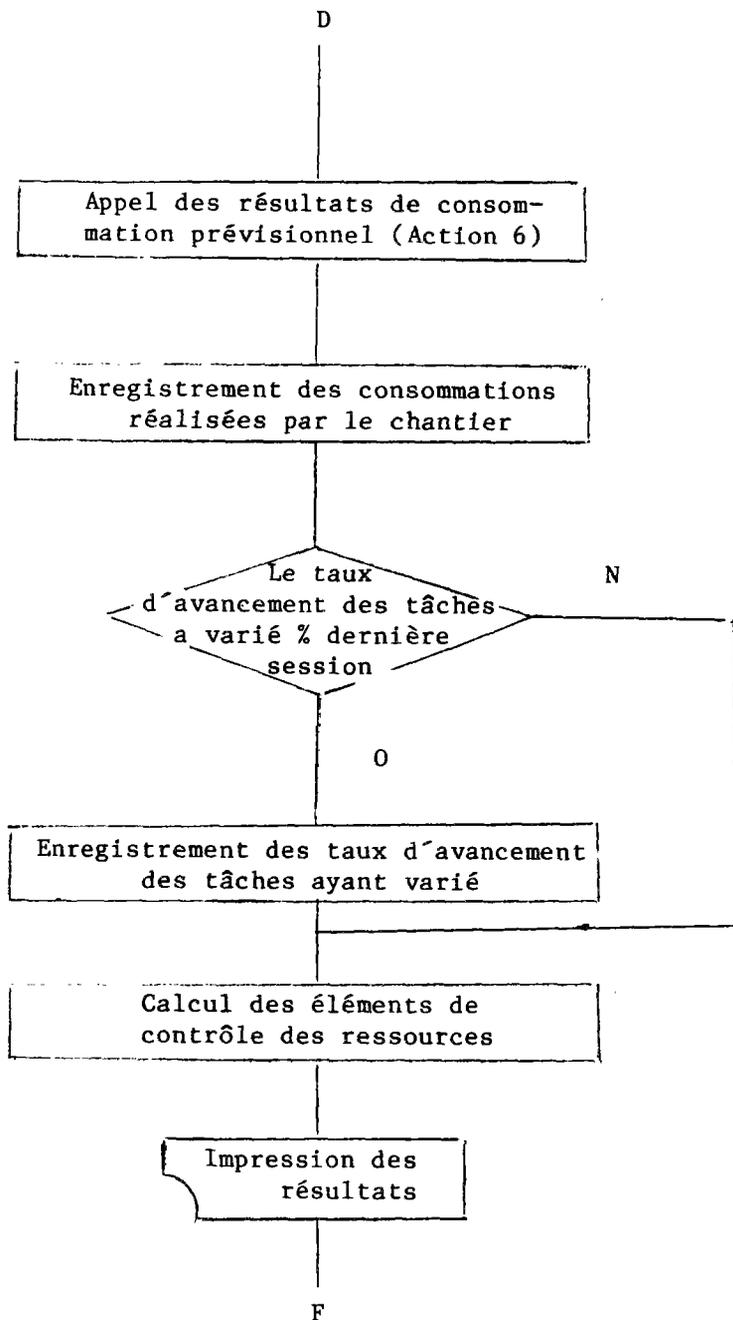
.....
 -INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES..... TAPPEZ 01
 -PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT..... TAPPEZ 02
 -DIAGRAMME GANTT..... TAPPEZ 03
 -COURSES DE CHARGE..... TAPPEZ 04
 -GRAPHES LOGIQUES..... TAPPEZ 05
 -QUANTIFICATION ET VALORISATION DES RESSOURCES..... TAPPEZ 06
 -LISSAGE DE CHARGE..... TAPPEZ 07
 -NIVEAU..... TAPPEZ 08
 -S'AVANCEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX..... TAPPEZ 09
 -RECALAGE DES DATES..... TAPPEZ 10
 -SITUATION DES TRAVAUX..... TAPPEZ 11
 -CONTROLE DE RESSOURCES..... TAPPEZ 12
 -FIN D'UTILISATION DU PROGRAMME..... TAPPEZ 13

Action A9 : dans le cas où la réponse à la première question est positive, les prix contractuels des tâches sont saisis ; dans le cas où la réponse à la deuxième question est positive, les données sont d'avancement sont saisis

Action 12

Cette action a pour rôle de contrôler l'utilisation des ressources, en vue de servir à l'établissement du contrôle budgétaire.

Elle utilise les résultats de l'action 6 et les consommations réalisées par le projet.



2UN
 8-File1 PERT20
 M CE CAS REPRESENTE-T-IL UN NOUVEAU PROJET(O/N)
 N DONNEZ LE NOM DU PROJET
 ZAG
 TRYGAS
 CNECAS

PILOTE GENERAL

.....
 -INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES.....TAPPEZ 01-
 -PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT.....TAPPEZ 02-
 -DIAGRAMME GANTT.....TAPPEZ 03-
 -COURBES DE CHARGE.....TAPPEZ 04-
 -GRAPHE LOGIQUE.....TAPPEZ 05-
 -QUANTIFICATION ET VALORISATION DES RESSOURCES.....TAPPEZ 06-
 -LISSAGE DE CHARGE.....TAPPEZ 07-
 -NIVEAU.....TAPPEZ 08-
 -R ANVANCEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX.....TAPPEZ 09-
 -RECALAGE DES DATES.....TAPPEZ 10-
 -SITUATION DES TRAVAUX.....TAPPEZ 11-
 -CONTROLE DE RESSOURCES.....TAPPEZ 12-
 -FIN D UTILISATION DU PROGRAMME.....TAPPEZ 13-

2. PAS DE CIRCUIT

.....
 * FIN DE L ACTION 2 *

PILOTE GENERAL

.....
 -INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES.....TAPPEZ 01-
 -PROBLEME CENTRAL D'ORDONNANCEMENT.....TAPPEZ 02-
 -DIAGRAMME GANTT.....TAPPEZ 03-
 -COURBES DE CHARGE.....TAPPEZ 04-
 -GRAPHE LOGIQUE.....TAPPEZ 05-
 -QUANTIFICATION ET VALORISATION DES RESSOURCES.....TAPPEZ 06-
 -LISSAGE DE CHARGE.....TAPPEZ 07-
 -NIVEAU.....TAPPEZ 08-
 -R ANVANCEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX.....TAPPEZ 09-
 -RECALAGE DES DATES.....TAPPEZ 10-
 -SITUATION DES TRAVAUX.....TAPPEZ 11-
 -CONTROLE DE RESSOURCES.....TAPPEZ 12-
 -FIN D UTILISATION DU PROGRAMME.....TAPPEZ 13-

13. ENREGISTREMENT DES CONSTATATIONS REALISEES DE RESSOURCES

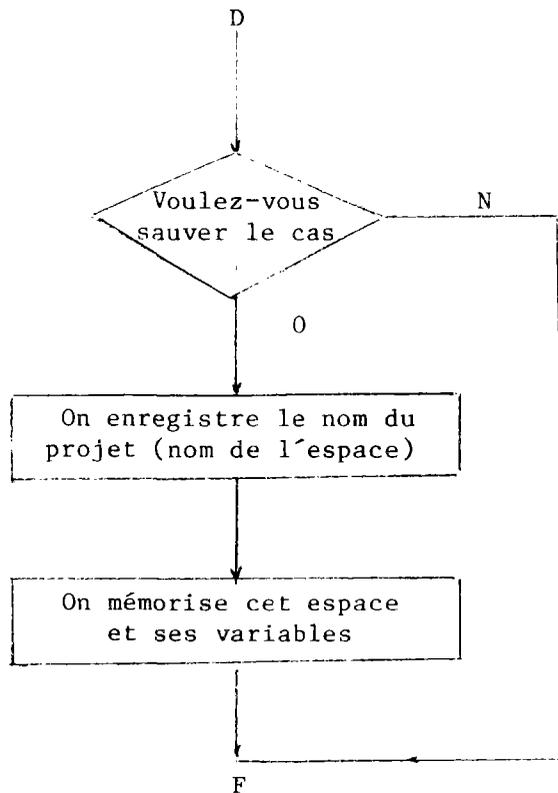
CONTROLE DE MATERIAUX

.....
 DONNEZ POUR CHAQUE TACHE J,LE MATERIAU REFERENCE PAR SON SON NUMERO ET
 SA QUANTIFICATION A CE JOUR
 POUR FINIR RECHANGER 0,0.

Action 12: les quantites maximales consommées pour les ressources pour lesquelles on s'intéresse (définies par l'action 4) sont indiquées.

Action 13

On fait appel à cette action lorsque l'on veut arrêter la session. La question est alors posée à l'utilisateur s'il veut mémoriser ou non les données et modifications introduites. Dans le cas positif, il attribuera un nom au projet.



PUE
 S J Filel
 10-180
 CE CAS REPRESENTE-T-IL UN NOUVEAU PROJET(O/N)
 N BONNEZ LE NOM DU PROJET
 ZXB
 TRTOM
 CHECOM

.....
 PILOTE GENERAL

 -INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES-----TAPPEZ 01
 -PROBLEME CENTRAL D'ORDONNEMENT-----TAPPEZ 02
 -DIAGRAMME GANTT-----TAPPEZ 03
 -COURSES DE CHARGE-----TAPPEZ 04
 -GRANDE LOGIQUE-----TAPPEZ 05
 -QUANTIFICATION ET VALORISATION DES RESSOURCES-----TAPPEZ 06
 -LISAGE DE CHARGE-----TAPPEZ 07
 -MISE EN PLACE-----TAPPEZ 08
 -S AMANAGEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX-----TAPPEZ 09
 -RECALAGE DES DATES-----TAPPEZ 10
 -SITUATION DES TRAVAUX-----TAPPEZ 11
 -CONTROLE DE RESSOURCES-----TAPPEZ 12
 -FIN D UTILISATION DU PROGRAMME-----TAPPEZ 13

11. CALCUL DES PAYEMENTS PERMANENTS

 EST-CE-LA PREMIERE SITUATION(O/N)
 N LE TAUX DE REALISATION A USURIE N A LA DERNIERE SESSION(O/N)
 N

 * FIN DE L ACTION 11 *

.....
 PILOTE GENERAL

 -INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES-----TAPPEZ 01
 -PROBLEME CENTRAL D'ORDONNEMENT-----TAPPEZ 02
 -DIAGRAMME GANTT-----TAPPEZ 03
 -COURSES DE CHARGE-----TAPPEZ 04
 -GRANDE LOGIQUE-----TAPPEZ 05
 -QUANTIFICATION ET VALORISATION DES RESSOURCES-----TAPPEZ 06
 -LISAGE DE CHARGE-----TAPPEZ 07
 -MISE EN PLACE-----TAPPEZ 08
 -S AMANAGEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX-----TAPPEZ 09
 -RECALAGE DES DATES-----TAPPEZ 10
 -SITUATION DES TRAVAUX-----TAPPEZ 11
 -CONTROLE DE RESSOURCES-----TAPPEZ 12
 -FIN D UTILISATION DU PROGRAMME-----TAPPEZ 13

13. VALUEZ-VOUS SAUVER LE CAS (O/N)
 O BONNEZ LE NOM DE CE PROJET
 ZXB
 TRTOM
 CHECOM
 PARTIRAN STOP
 0

Action 13: Cas où le projet est mémorisé. le nom 'Toto' lui est attribué

2. Filles: PERAS
 3. DE CAS REPRESENTE-T-IL UN NOUVEAU PROJET(O/N)
 4. DONNEZ LE NOM DU PROJET
 5.0
 6.0
 7.0
 8.0

PILOTE GENERAL

.....
 -INTRODUCTION DES DONNEES PRINCIPALES.....TAPÉZ 01-
 -PROBLEME CENTRAL D'ORDONNEMENT.....TAPÉZ 02-
 -DIAGRAMME GANTT.....TAPÉZ 03-
 -COURBES DE CHARGE.....TAPÉZ 04-
 -GRAPHY LOGIQUE.....TAPÉZ 05-
 -QUANTIFICATION ET VALORISATION DES RESSOURCES.....TAPÉZ 06-
 -LISSAGE DE CHARGE.....TAPÉZ 07-
 -NIVEAU.....TAPÉZ 08-
 -N AVANCEMENT THEORIQUE DES TRAVAUX.....TAPÉZ 09-
 -RECALAGE DES DATES.....TAPÉZ 10-
 -SITUATION DES TRAVAUX.....TAPÉZ 11-
 -CONTROLE DE RESSOURCES.....TAPÉZ 12-
 -FIN D UTILISATION DU PROGRAMME.....TAPÉZ 13-

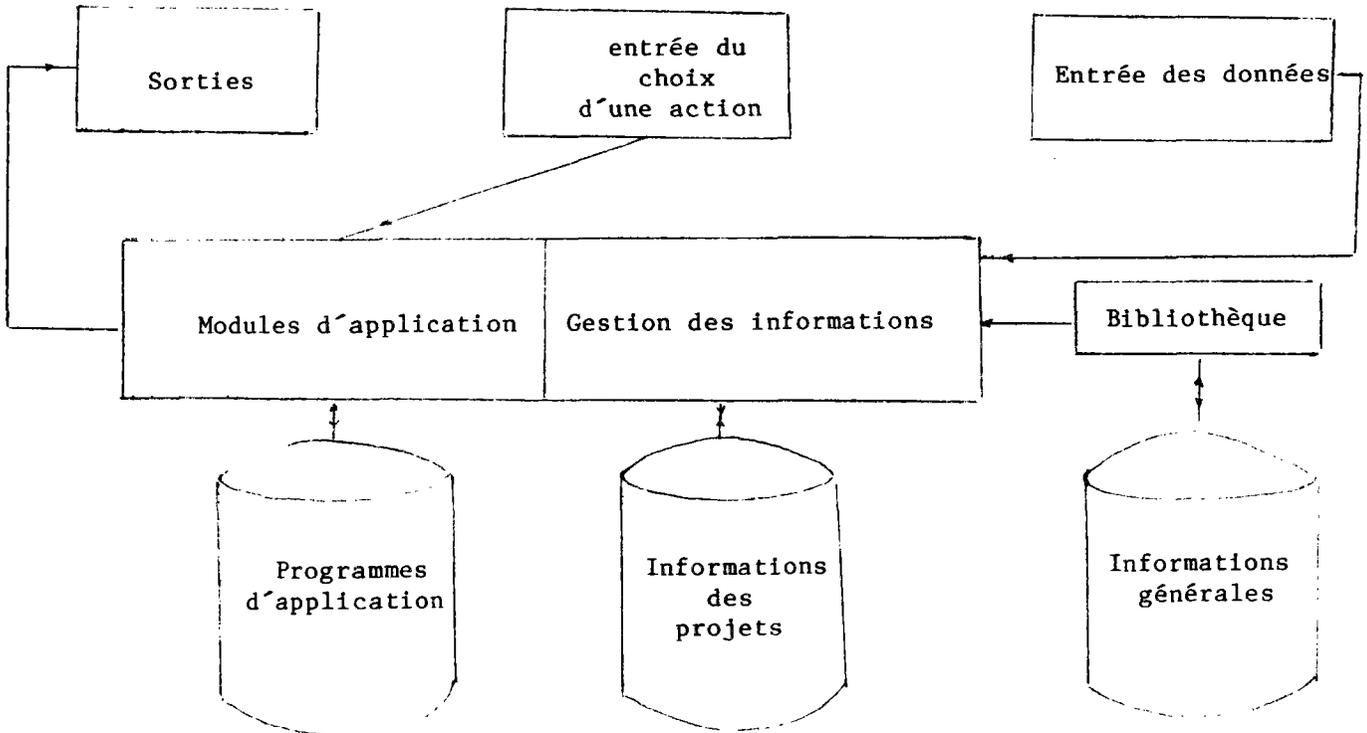
13. VOULEZ-VOUS SAUVEZ LE CAS (O/N)
 14. PORTER STOP
 15

Action 13: cas ou le projet n'est pas sauvegarde

PRESENTATION DU LOGICIEL

2.3.4 Récapitulatif

La conception générale du scénario à mettre en oeuvre peut être finalement représentée par la figure suivante :



. Modules d'applications

Ils correspondent à l'application des calculs dans un domaine donné (Ex. détermination d'un circuit ou de potentiels) suivant un certain nombre de paramètres.

. Modules d'entrées/sorties

Ces modules permettent

- l'entrée des données
- le choix entre plusieurs choix d'action
- les sorties de résultats

. Modules de gestion des données

Ces modules servent à rechercher ou à mémoriser les informations sur fichier.

- . Bibliothèque : Cette bibliothèque, bien qu'elle n'existera pas dans notre outil, serait utile à mettre en place ultérieurement.

PRESENTATION DU LOGICIEL

2.3.5 Exploitation

Le programme, écrit en FORTRAN IV, est implanté sur VAX/vms. Il nécessite une taille de 205 blocs soit environ 100 K-octets.

Son exploitation courante s'appuie sur deux fichiers :

- un fichier séquentiel (RCARTE)

usage : ce fichier sert, lorsque le projet est nouveau, à enregistrer des informations de base qu'il serait lassant d'introduire conversationnellement à l'écran.

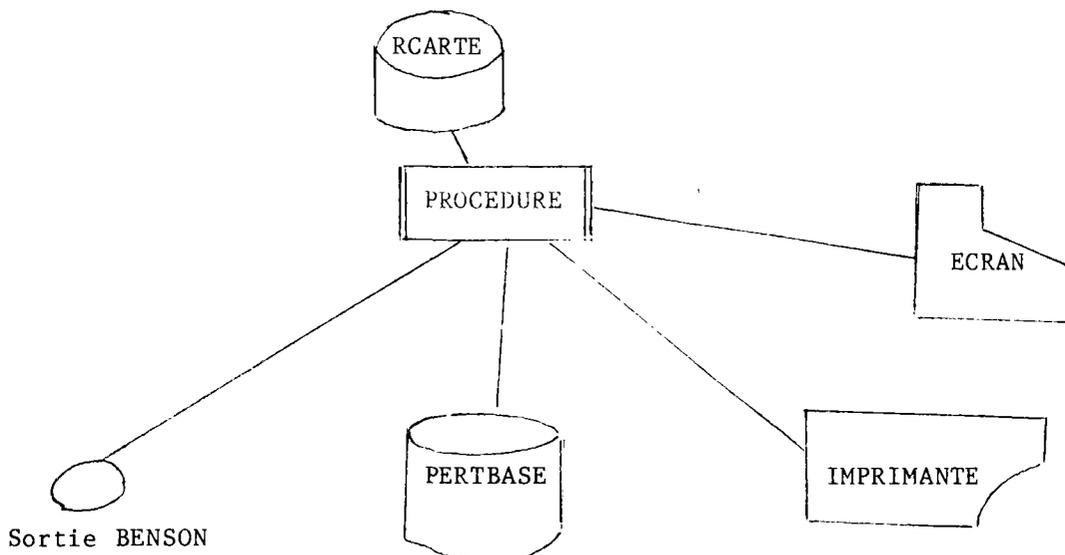
Il contient

- le tableau de précedence des tâches
- la durée des tâches
- les jours ouvrables des tâches
- le code et le libellé des tâches.

- un fichier à accès direct (PERTBASE)

Ce fichier mémorise, pour un projet donné, les informations contenues dans le fichier séquentiel ainsi que celles introduites lors de l'utilisation du programme. Il sera le seul fichier pour tout projet mémorisé. Les fonctions d'utilisation de ce fichier ont été donné à la page 99.

L'exploitation du programme peut être représentée par la figure suivante :



La procédure consiste à définir les fichiers utilisés et leur mode d'organisation, et à faire l'édition des liens entre les programmes avec les bibliothèques (BENSON, TEKTRONIX).

CONCLUSION :

Les ordonnancements ont suscité ces dernières années de nombreuses recherches théoriques et pratiques. Les méthodes susceptibles de trouver leur application dans le domaine du bâtiment ont été exposées dans la première partie de ce travail.

Concernant le problème central d'ordonnement, nous avons insisté sur la distinction entre durée d'exécution et contraintes.

Pour les problèmes cumulatifs, nous avons présenté le problème de nivellement et le problème de lissage. La prise en compte simultanée de ces deux aspects reste encore à développer sur le plan théorique, pour la rendre applicable pour des projets réels.

Les problèmes de réduction de délais ou de coûts de projets supposent la connaissance de la fonction durée/coût qui n'est pas bien connue par les entreprises; ils trouvent peu d'application dans la pratique.

La deuxième partie de ce travail a été orientée vers la connaissance des contraintes que rencontrent les entreprises et leur intégration dans un outil informatique.

On se rend compte, à travers nos enquêtes notamment, que les besoins de celles-ci ne résident pas dans l'application de méthodes d'ordonnement d'une certaine complexité mathématique, mais en la prise en considération correcte des problèmes de gestion de projets rencontrés.

Ainsi, l'actualisation des projets, le contrôle d'utilisation de ressources, ou l'établissement de situations mensuelles, dont l'influence sur le contrôle budgétaire est très importante, sont des problèmes qui devraient susciter des recherches pour leur prise en compte systématique dans les problèmes d'ordonnement en vue de parvenir à une meilleure opérationnalité des entreprises.

L'étude que nous avons menée a consisté en la prise en compte d'une manière intégrée de ces problèmes. Ainsi nous avons considéré que le contrôle d'utilisation des ressources ne doit pas rester global pour un projet donné, mais aller jusqu'au niveau des tâches, le résultat de ces contrôles devant servir à perfectionner les connaissances sur les données des ressources et sur les études de prix.

L'établissement des paiements mensuels devra également être obtenu directement à partir de la définition des tâches et des avancements de travaux.

Le recalage de projets devra être considéré comme une phase normale, à cause de la difficulté de prendre en compte l'ensemble des paramètres.

L'utilisation de concepts pouvant être fondamentaux, tels que la codification des tâches, est une des premières étapes à respecter pour parvenir à l'amélioration de gestion de chantiers.

Les documents graphiques restent pour les réalisateurs des supports indispensables; nous avons étudié les principaux d'entre eux.

PRESENTATION DU LOGICIEL

Le logiciel que nous avons réalisé à partir de l'analyse des contraintes relatives aux problèmes d'ordonnement doit être considéré comme un prototype. Des développements restent à réaliser pour rendre ce logiciel plus évolué à l'usage des PME et des PMI. Ces développements consistent essentiellement à l'amélioration de la version dialogue et des entrées/sorties.

B I B L I O G R A P H I E

BIBLIOGRAPHIE

- 1 B. ROY : "Algèbre moderne et théorie des graphes" - 1970 - DUNOD - tome 2
- 2 M. GONDRAN - M. MINOUX : "Graphes et algorithmes" - 1979 - Eyrolles
- 3 E. MAUREL - D. ROUX - D. DUPONT : "Techniques opérationnelles d'ordonnement" - 1977 - Eyrolles
- 4 A. LAHNCHI : "Ordonnements. La notion de "parties obligatoires" et son application aux problèmes cumulatifs" - Thèse de 3° cycle - Mai 1979
- 5 A. LAHNCHI : "Notion de parties obligatoires et son application à la recherche de créneaux" - RAIRO - vol. 15, n° 3 - 1981
- 5A "La notion d'intervalle obligatoire et son application aux problèmes cumulatifs" - Groupe de recherche n° 22 - CNRS - Université de PARIS VI - Février 1979
- 6 DIBON M.L. : "Ordonnements et potentiels. Méthode MPM" Herman - 1970 - Collection actualités scientifiques et industrielles
- 7 R. FAURE - C. RONCAIROL : "Chemins et flots" - 1976 - Gauthier - Villars
- 8 BURGESS A.R. et KILLEBREW J.R. : "Variation in activity level on an arrow diagram" - Journal of industrial engineering - Mars-Avril 1962
- 9 MASON A. THOMAS et MODIE COLIA L : "A branch and bound algorithm for minimizing cost project scheduling" - Management science, vol. 18, n° 4, partie 1 - Décembre 1972
- 10 DAVIS E.W. et PATTERSON J.H. : "A comparison of heuristic and optimum solutions in resources-constrained project scheduling" - Management science, vol. 21, n° 8 - Avril 1975
- 11 MOUN HYUN KIM : "Ordonnement de chantiers : prise en compte de l'interaction entre le délai et le niveau de ressources disponibles" - Thèse de de Docteur-Ingénieur - Mars 1980 - INSA de Lyon
- 12 J. ERSHER - G. FONIA et F. ROUBELET : "Potentiels sur un graphe non conjonctif et analyse d'un problème d'ordonnement à moyens limités" - RAIRO vol. 13, n° 4 - Décembre 1979
- 13 P. NEPOMIASTICHY : "Résolution d'un problème d'ordonnement à ressources variables" - RAIRO - vol.12, n° 3, Avril 1978

BIBLIOGRAPHIE

- 15 MANGIN J.C. : "Prise en compte des tâches répétitives dans l'ordonnement des travaux de bâtiment" - Thèse de Docteur d'Etat ES - Science - Mars 1979 - INSA de Lyon
- 16 J. AGARD et G. GANOT : "Ordonnement du grand entretien d'un avion avec égalisation des objectifs d'entretien" - RAIRO - n° 38 - 1966
- 17 VINCENT GIARD : "Gestion de production" - 1981 - Economica
- 18 J.F. BOSS : "Prise en considération des contraintes pesant sur la disponibilité des moyens dans la méthode de chemins critiques" - RAIRO - n° 38 - 1966
- 19 A. BATTERSBY : "Méthodes modernes d'ordonnement" - Dunod - 1967
- 21 GORDON J.H. : "Heuristic methods in resource allocation" - INTERNET Congress - Book II, p. 501-508 - Paris 1974
- 24 J. SIMION : "Une procédure pour le calcul du flot optimal dans un réseau antisymétrique" - RAIRO - vol. 11 - 1971
- 26 M. MARCEL : "Méthodologie de conception de bâtiment. Un système de conception assisté par ordinateur : Evolutions techniques et économiques d'un projet" - Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences - INSA de Lyon - 25 mai 1981
- 28 H. PRADE : "Ordonnement et temps réel" - Thèse de Docteur-Ingénieur - Octobre 1971 - Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace
- 30 H. PRADE : "Algorithme de plus courts chemins pour traiter des données floues" - RAIRO - vol. 12, N° 2 - 1978
- 31 E. VENTURA : "Introduction à l'aléatoire dans le domaine PERT" - Revue française de recherche opérationnelle - n° 38 - 1966
- 32 VITTEK A. : "Tracé automatique de graphes d'ordonnement" - Thèse de 3° cycle - Spécialité mathématiques - Juin 1982
- 33 D.DIMITRI et Z. KHALDOUN : "Tracé automatique des réseaux PERT" - DEA - Travail de Fin d'Etudes - Ecole Nationale des Ponts et Chaussées - Juin 1982
- 34 BERMOND - KAUDRATAFF : "Une heuristique pour le calcul de l'indice de transitivité d'un tournoi" - RAIRO - informatique théorique - vol. 10, n° 3 - 1976
- 35 TULIP A. : "Resource smoothing, theory and practice" - INTERNET 72 - Congress Book 3 - Stockholm - 1972

BIBLIOGRAPHIE

- 35A A. HENRY-LABORDERE : "Cours de recherche opérationnelle" - Cours de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
- 37 BENDERS J.F. : "Partitioning procedures for solving mixed variables programming problems" - Numerische Mathematik 4, p. 238-252
- 39 JOHNSON S.M. : "Optimal two and three stage production scheduler with set up times included" - Naval Res. Logist. - 1954
- 40 JACKSON J.P. : "Scheduling a production line to minimise maximum tardiness" University of California - Los Angeles - 1955
- 42 A. KAUFMANN : "Introduction à la théorie des sous-ensembles flous" - Tome 1 Masson - 1977
- 43 BALAS : "Machine sequencing via disjunctive graphs : an implicit enumeration" Operations Research - vol. 17, n° 9 - 1969
- 44 GORENSTEIN : "An algorithm for project sequencing with resource constraints" Operations Research - Juillet-Août 1972
- 45 "La gestion appliquée à la PME" - Institut de recherche de l'entreprise - 1982
- 49 J.P. MELIN : "Proposition d'une solution approchée pour l'étude du maximum de plusieurs variables aléatoires" - RAIRO - vol. 17, N° 2 - Mai 1983

A N N E X E 1

Incertitude sur la durée d'une tâche

INCERTITUDE SUR LA DUREE D'UNE TACHE

Certaines études d'ordonnement sont faites par des méthodes déterministes, d'autres essaient de tenir compte de l'aléatoire dans les tâches faisant intervenir trois grandeurs : le temps minimum, le temps maximum, le temps le plus probable.

Beaucoup d'études ont été consacrées à l'étude de l'aléatoire dans le domaine PERT. A l'origine, quand les chercheurs américains ont essayé de décrire la durée aléatoire "d" d'une activité pour laquelle on ne possédait aucune statistique préalable, ils ont pensé faire appel à une distribution de fréquence $f(d)$ dotée des propriétés suivantes :

- . A une valeur de d correspond une valeur et une seule $f(d)$
- . La probabilité que l'activité demande un temps inférieur à un temps dit "optimiste" a est nulle
- . La probabilité que l'activité demande un temps supérieur à un temps dit "pessimiste" b est nulle
- . Il existe un temps dit "le plus probable" m, qui correspond au mode, supposé unique de la distribution
- . L'étendue entre le minimum a et le maximum b est censé représenter 6 écarts-types de la distribution.

Autrement dit
$$\sigma = \frac{b - a}{6} \quad (1)$$

Il existe une distribution classique qui répond à ces conditions : c'est la distribution Bêta à 4 paramètres a, b, p, q dont la densité de probabilité est donnée par :

$$f(d) = \frac{(d - a)^p (b - d)^q}{(b - a)^{p+q+1} \beta(p+1, q+1)} \quad (2)$$

avec
$$\beta(p+1, q+1) = \int_0^1 x^p (1-x)^q dx$$

La fonction est elle-même liée à la fonction Gamma

$$\Gamma(p+1) = \int_0^{\infty} x^p e^{-x} dx$$

par la relation

$$B(p+1, q+1) = \frac{\Gamma(p+1)\Gamma(q+1)}{(p+q+2)}$$

INCERTITUDE SUR LA DUREE D'UNE TACHE

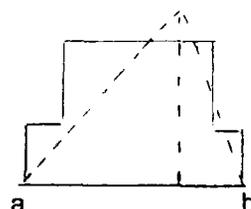
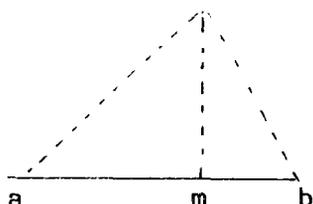
La plupart des études, plutôt que de prendre dans les calculs une distribution de ce type, se contentent de conserver une approximation de la moyenne donnée par :

$$v = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (5)$$

et l'écart type donné par (1).

A. BATTERSBY (19) montre, par ailleurs, que (5) est vraie seulement quand la distribution est symétrique. E. VENTURA (31) propose de conserver l'idée du temps optimiste et du temps pessimiste, mais

- soit à admettre une distribution uniforme du temps entre a et b (dans ce cas (5) est vérifié)
- soit si l'on a des raisons d'admettre une valeur privilégiée (mode), d'admettre certaines distributions telles que triangulaires ou à 3 grandeurs notamment (ce sont des transformations des distributions triangulaires),



J.P. MELIN (49) propose une méthode approchée, pour le calcul du maximum de plusieurs variables aléatoires qui s'appuie sur une distribution de probabilité dérivée de la distribution .

En posant $p + 1 = \mu$ et $q + 1 = \rho$, la distribution $f(d)$ (2) devient :

$$f(d) = \frac{1}{\beta(\mu, \rho)} \frac{(d - a)^{\mu-1} (b - d)^{\rho-1}}{(b - a)^{\mu+\rho-1}} \quad \text{pour } d \in [a, b]$$

$$f(d) = 0 \quad \text{pour } d \notin [a, b], \mu, \rho > 0$$

En prenant $a = 0$, $b = T$ et un cas particulier de la fonction β : $\rho = 1$, il obtient une distribution :

$$f(d) = \frac{\mu - d^{\mu-1}}{T^\mu} \quad \text{pour } d \in [0, T]$$

$$f(d) = 0 \quad \text{pour } d \notin [0, T]$$

INCERTITUDE SUR LA DUREE D'UNE TACHE

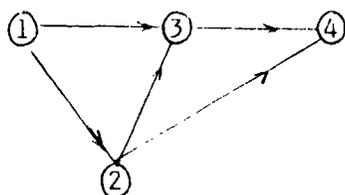
Les n variables aléatoires d_i ont été ordonnées auparavant en fonction de leur paramètre I_i , c'est à dire que $I_1 \leq I_2 \leq \dots \leq I_n$

ce qui entraîne $I_m = \max_{i=1}^n I_i$

La valeur de l'espérance mathématique (encore appelée durée moyenne) est alors :

$$E(X) = \frac{T_m \mu_m}{\mu_{m+1}} + \frac{\sum_{i=1}^{m-1} \mu_i T_i^{-1} + \sum_{j=i+1}^m \mu_j}{\left(\sum_{j=i+1}^m T_j^{-1} \right) \left(1 + \sum_{j=1}^m \mu_j \right) \left(1 + \sum_{j=i+1}^m \mu_j \right)}$$

Mais l'hypothèse d'indépendance des tâches n'est dans le cas général pas vérifiée, d'où les problèmes d'application de cette formule. Un exemple de non indépendance est donnée par l'exemple suivant :



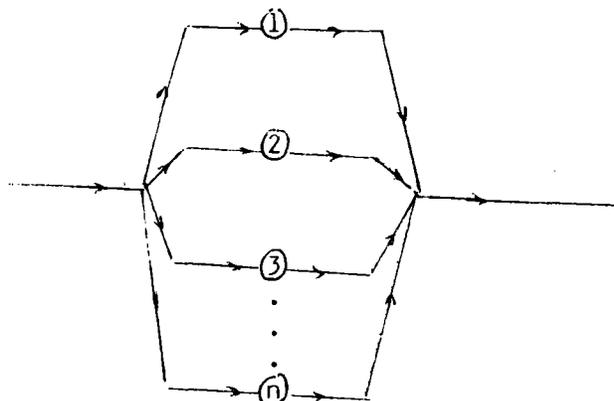
La détermination de la durée totale du sommet 4 sera le maximum des durées :

- du chemin 1, 2, 4
- du maximum $\begin{cases} 1,3 \\ 1,2,3 \end{cases} + (3,4)$

Le chemin 1,2 intervient deux fois, ce qui est contraire à l'indépendance des variables.

Compte tenu que les hypothèses faites sur la nature de distribution ont leur fondement incertain, leur application ne ferait qu'augmenter le volume de traitement sans amélioration des résultats. C'est pourquoi nous avons employé la méthode déterministe.

Cette méthode donne des résultats systématiquement sous-estimés. Soit, en effet, le graphe suivant :



INCERTITUDE SUR LA DUREE D'UNE TACHE

Si d_i représente la durée de la tâche i , la durée d'exécution X de l'ensemble est :

$$X = \max_{i=1}^n d_i$$

Les méthodes déterministes considèrent la durée moyenne de chaque tâche et prennent pour durée maximum la durée moyenne la plus grande :

$$\max_{i=1}^n E(d_i)$$

Par contre la valeur recherchée est la valeur moyenne du maximum qui peut se noter :

$$E(\max_{i=1}^n d_i)$$

Or, en général, cette dernière valeur est supérieure à la première.

Nous noterons enfin que certains auteurs appliquent les concepts flous tels que H. PRADE (28), (30) quand les données, notamment sur les durées, sont incertaines. L'ouvrage de A. KAUFFMANN (42) expose la théorie des sous-ensembles flous.

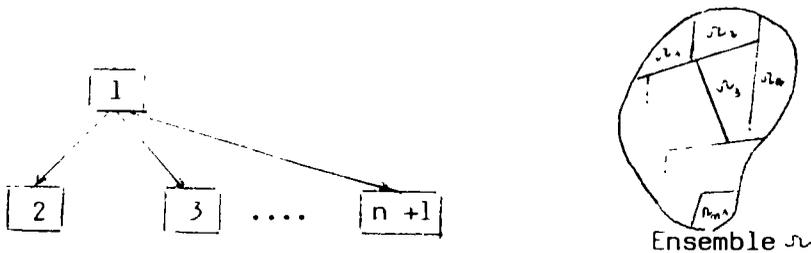
A N N E X E 2

Rappels sur les procédures par séparation et évaluation

RAPPELS SUR LES PROCEDURES PAR SEPARATION ET EVALUATION

Soit \mathcal{N} un ensemble et $H : \mathcal{N} \rightarrow \mathbb{R}$ une fonction dite fonction économique, à minimiser lorsqu'on ne connaît pas d'algorithme assez rapide donnant un optimum ω^* ($H(\omega^*) \leq H(\omega) \forall \omega \in \mathcal{N}$), il peut être intéressant, selon le cas, d'envisager une procédure par séparation et évaluation. Une telle procédure consiste en une suite de découpages, de partitionnements de plus en plus fins de \mathcal{N} , et se représente commodément par une arborescence.

D'une façon plus précise, la racine de l'arbre représente \mathcal{N} . On commence par partitionner \mathcal{N} en un certain nombre de sous-ensembles, soit $\mathcal{N}_1, \mathcal{N}_2, \dots, \mathcal{N}_{n_1}$. Ceci équivaut à scinder la racine - sommet n° 1 de l'arbre - en n_1 sommets de numéros 2, 3, ..., $(n_1 + 1)$, représentant respectivement $\mathcal{N}_1, \dots, \mathcal{N}_{n_1+1}$.



Cette phase 1 s'appelle phase de séparation.

La phase 2 est la phase d'évaluation : en chaque $\mathcal{N}_i (i=1, \dots, n)$, on calcule, par une méthode quelconque, un minorant $h(i+1)$ de la restriction H/\mathcal{N}_i de H à \mathcal{N}_i , valeur qui sera attachée au sommet $(i+1)$. Par définition :

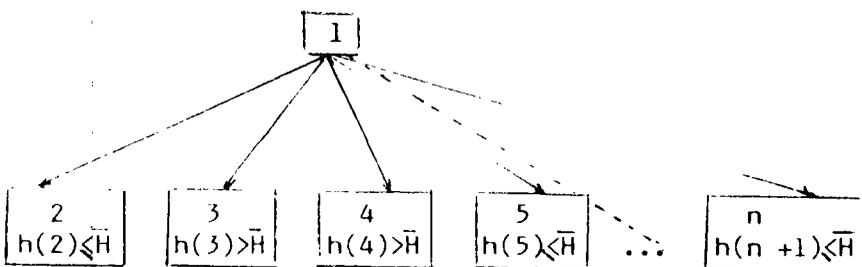
$$\forall i \in (1, n), \forall \omega \in \mathcal{N}_i, h(i+1) \leq H(\omega)$$

Eventuellement, si l'on connaît déjà la valeur de H en certains points de $\omega_1, \dots, \omega_p$ de \mathcal{N} , on garde le meilleur de ces points, c'est à dire celui qui attribue à H la plus petite valeur; notons le $\bar{\omega}$. La phase d'élimination consiste alors à éliminer tout sommet i tel que :

$$h(i+1) > H(\bar{\omega})$$

Cette inégalité implique en effet que \mathcal{N}_i ne peut contenir ω^* , et qu'il doit être éliminé.

$\bar{\omega}$: meilleur élément de \mathcal{N} connu jusqu'alors
plus petite valeur connue pour H : $H = H(\bar{\omega})$



RAPPELS SUR LES PROCEDURES PAR SEPARATION ET EVALUATION

Après la phase d'élimination, un sommet pendant non éliminé est appelé sommet explorable. Chaque sommet explorable représente une partie de \mathcal{N} encore susceptible de renfermer un optimum w^* , et w^* appartient nécessairement à l'une de ces parties. La phase 4 est la phase de sélection du sommet à explorer; pour ce faire, il existe plusieurs méthodes : P.S.E.P. (procédure par séparation et évaluation progressive) ou P.S.E.S. (procédure par séparation et évaluation séquentielle).

Pour le procédure S.E.P., on adopte la règle suivante : "Le sommet i à explorer est, parmi les sommets i explorables, le premier donnant à h la plus petite valeur.

C'est le sommet qui, a priori, à cette étape, a le plus de chances de contenir w^* .

Une fois choisi i_0 , représentant $\mathcal{N}(i_0 - 1)$, on est à l'étape suivante : on scinde $(i_0 - 1)$ en $\mathcal{N}_{n_1+1}, \dots, \mathcal{N}_{n_2}$, etc....

A n'importe quelle étape, dès qu'une partie \mathcal{N}_k - représentée par le sommet $(k + 1)$ - est réduite à un point, soit \hat{w} , on calcule $H(\hat{w})$ et on le compare $\bar{H} = H(\bar{w})$, la plus petite valeur connue jusqu'alors pour H . $(k + 1)$ est alors un sommet terminal :

- 1°) Si $H(\hat{w}) > H(\bar{w})$, on est sûr que \hat{w} ne peut être optimal, et on se contente de l'éliminer;
- 2°) Si $H(\hat{w}) \leq \bar{H} = H(\bar{w})$, \hat{w} est meilleur que \bar{w} , on remplace alors \bar{w} par \hat{w} , etc.;
- 3°) Si, condition plus forte que 2°, $H(\hat{w})$ est inférieur (\leq) à $h(i)$ pour tout sommet explorable; alors w est optimal, et on pose $w^* = \hat{w}$.

Exemple formel pour minimiser $H : \mathcal{N} \rightarrow \mathbb{R}$

Etape 1 :

\mathcal{N} est représenté par le sommet 1, racine de l'arborescence

phase 1 : on découpe \mathcal{N} en 5 parties $\mathcal{N}_1, \dots, \mathcal{N}_5$, ce qui équivaut à "scinder" le sommet en les cinq sommets 2, 3, ..., 6

phase 2 : l'évaluation donne les minorants suivants de H sur $\mathcal{N}_1, \dots, \mathcal{N}_5$
 $h(2) = 3, h(3) = 7, h(4) = 2, h(5) = 5, h(6) = 4$

phase 3 : (élimination néant)

phase 4 : le sommet à explorer est 4, représentant \mathcal{N}

RAPPELS SUR LES PROCEDURES PAR SEPARATION ET EVALUATION

Etape 2 :

phase 1 : on découpe \mathcal{N}_4 en $\mathcal{N}_5, \mathcal{N}_6, \mathcal{N}_7, \mathcal{N}_8$, ce qui scinde le sommet 4 en les sommets 7, 8, 9

phase 2 (évaluation) : $h(7) = 4, h(8) = 3, h(9) = 10$

De plus \mathcal{N}_6 est réduit à un point \bar{w} , $\bar{H} = H(\bar{w}) = h(7) = 6$; 7 est un sommet terminal.

phase 3 (élimination) : sommet 3 et 9 éliminés, car $h(3) = 7 > \bar{H}$ et $h(9) = 10 > \bar{H}$

phase 4 : le sommet à explorer est 2, représentant \mathcal{N} .

Etape 3 :

phase 1 : \mathcal{N}_2 est découpé en $\mathcal{N}_9, \mathcal{N}_{10}, \mathcal{N}_{11}, \mathcal{N}_{12}$. Le sommet 2 est scindé en les sommets 10, 11, 12, 13

phase 2 (évaluation) : $h(10) = 6, h(11) = 4, h(12) = 7, h(13) = 5$. De plus \mathcal{N}_{10} est réduit à un point : $\mathcal{N}_{10} = \{\bar{w}\}$

$H(\bar{w}) = h(11) = 4$. Donc, \bar{w} est meilleur que \bar{w} ; on remplace alors \bar{w} par \bar{w} , ce qui donne à \bar{H} la valeur 4, meilleure que l'ancienne valeur 6.

phase 3 (élimination) : on élimine les sommets 5, 7, 10, 12 et 13, qui donnent des valeurs strictement supérieures à 4. Les sommets explorables à cette étape sont alors :

$$\begin{cases} 6, \text{ car } h(6) = 4 \leq \bar{H} \\ 8, \text{ car } h(8) = 3 \leq \bar{H} \end{cases}$$

phase 4 (sélection) : le sommet à explorer est 8

Etape 4 :

phase 1 : \mathcal{N}_8 est découpé en $\mathcal{N}_{13}, \mathcal{N}_{14}, \mathcal{N}_{15}$. Le sommet 8 donne les sommets 14, 15 et 16

phase 2 (évaluation) : $h(14) = 5, h(15) = 6, h(16) = 4$

phase 3 (élimination) : on élimine les sommets 14 et 15. il reste en cours les sommets 6 et 16. il se trouve que \mathcal{N}_{15} , représenté par le sommet 16, est réduit à un point : $\mathcal{N}_{15} = \{\bar{w}\}$; \bar{w} et \bar{w} donnant à la fonction économique H la même valeur 4 sont jusqu'alors les meilleurs éléments connus de \mathcal{N} .

phase 4 (sélection) : 6 est le sommet à explorer.

RAPPELS SUR LES PROCEDURES PAR SEPARATION ET EVALUATION.

Etape 5 :

phase 1 : \mathcal{N}_5 est découpé en \mathcal{N}_{14} , \mathcal{N}_{13} . Le sommet 6 donne les sommets 17 et 18.

phase 2 (évaluation) : $h(17) = 5$, $h(18) = 6$

phase 3 (élimination) : sommet 17 et 18 éliminés. Il ne reste plus de sommets explorables.

fin de la procédure. Deux valeurs optimales : \hat{w} et $\hat{\bar{w}}$

Remarque :

- a) on est sûr que \hat{w} et $\hat{\bar{w}}$ sont les seules valeurs optimales. Si l'on voulait se contenter du premier optimum rencontré, on aurait pu s'arrêter à la fin de l'étape 4, où le seul sommet encore en cause, le sommet 6, donnait à h la valeur 4, égale à $H(\hat{w})$ et à $H(\hat{\bar{w}})$, on était donc sûr, puisque l'exploration d'un sommet ne peut que faire augmenter h , que \mathcal{N}_5 ne pouvait contenir aucun élément strictement meilleur que \hat{w} et $\hat{\bar{w}}$. Donc on aurait pu poser à la fin de l'étape 5 : $w^* = \hat{w}$.
- b) Par contre, on n'aurait pas su le faire à la fin de l'étape 3, puisque $H(\bar{w}) = 4$, et qu'il restait un sommet encore non exploré, le sommet 8, donnant à h la valeur $3 < 4$, donc susceptible a priori de mener à un élément strictement meilleur que \bar{w} .
- c) En bref :
 - Fin de l'étape 3 : on connaît \bar{w} , mais on n'est pas sûr de son optimalité, puisqu'il reste en cause le sommet 8 vérifiant :
 $h(8) = 3 < H(\bar{w}) = 4$
 - Fin de l'étape 4 : on est sûr que \hat{w} et $\hat{\bar{w}}$ sont les valeurs optimales, puisque seul reste en cause le sommet 6 et que $h(6) = H(\hat{w}) = H(\hat{\bar{w}})$. On peut poser $w^* = \hat{w}$.

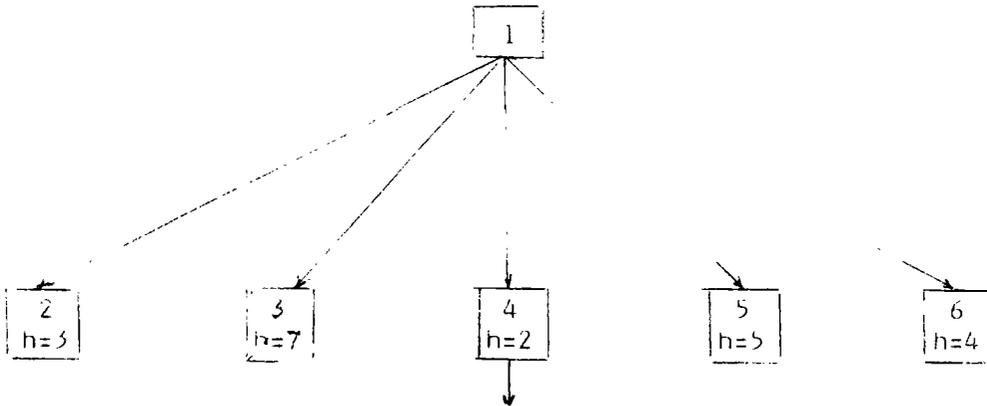
Cependant si l'on veut exhiber toutes les valeurs optimales, il faut explorer le sommet 6.

 - fin de l'étape 5 : on est sûr que \hat{w} et $\hat{\bar{w}}$ sont les seules valeurs optimales.

RAPPELS SUR LES PROCEDURES PAR SEPARATION ET EVALUATION

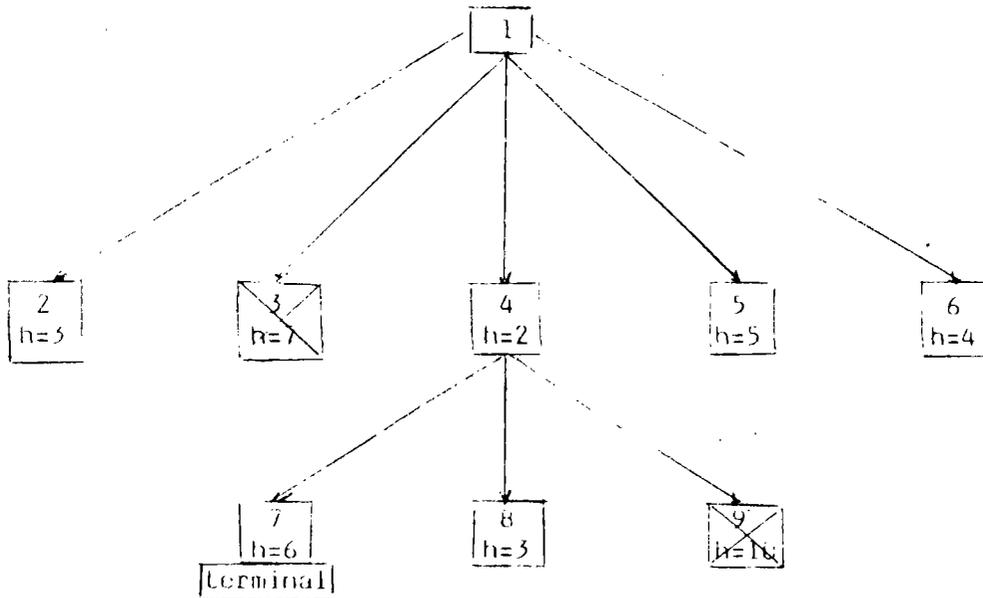
Evolution de l'arborescence, étape par étape

ETAPE 1



Sommets en cours : 2, 3, 4, 5, 6
 Sommet à explorer : 4

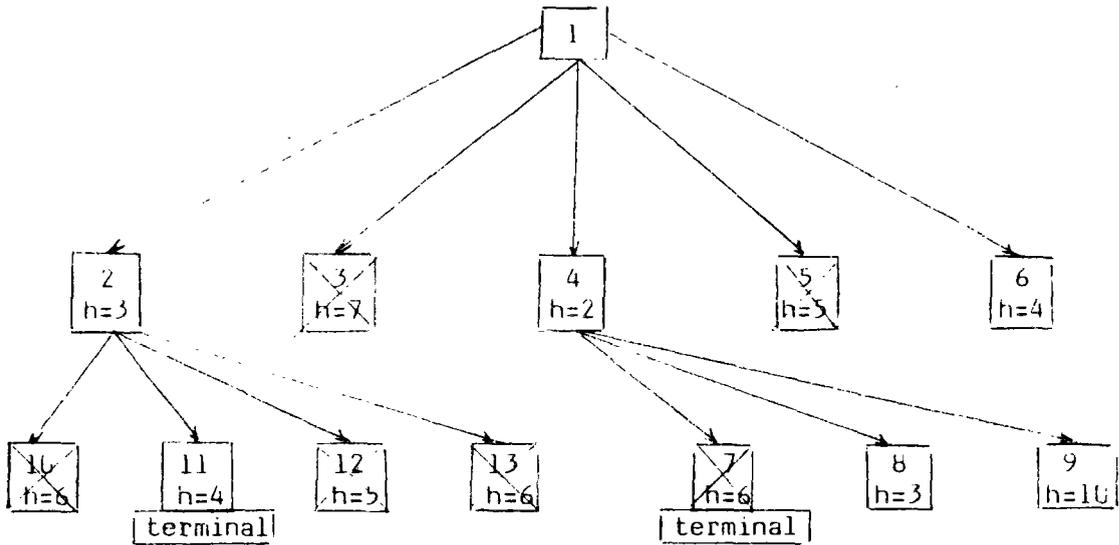
ETAPE 2



7 = sommet terminal : $\bar{h} = 6 \Rightarrow 3$ et 9 éliminés
 Sommets en cours : 2, 4, 5, 6, 8
 Sommet à explorer : 2

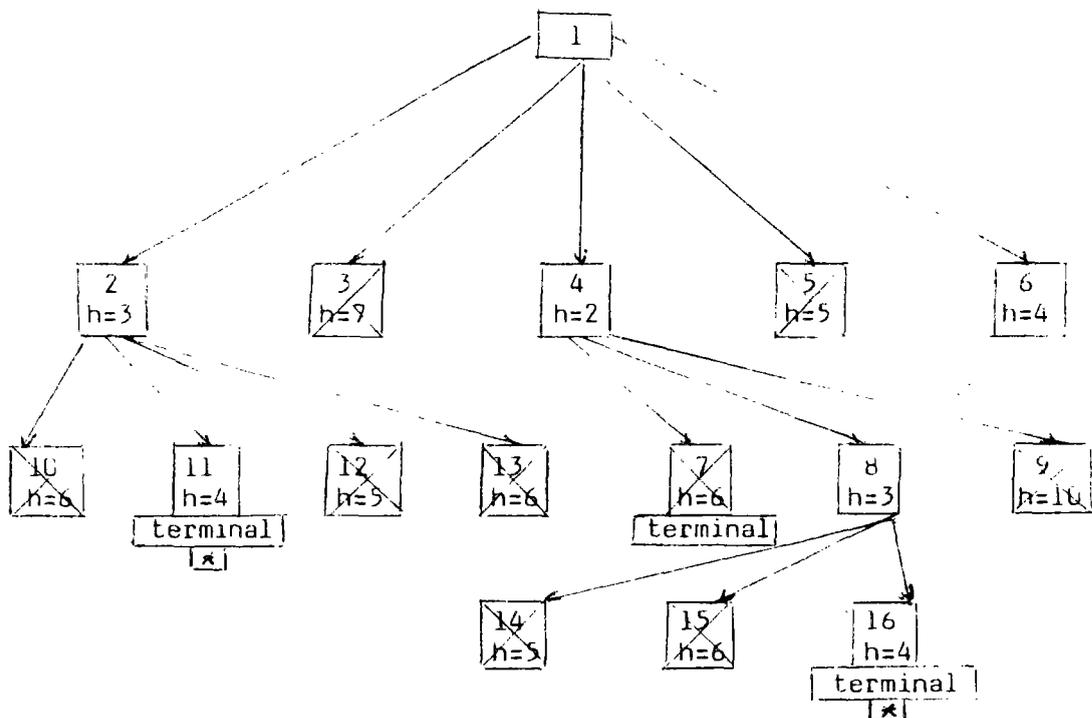
RAPPELS SUR LES PROCEDURES PAR SEPARATION ET EVALUATION

ETAPE 3



11 = sommet terminal : $H = 4 \Rightarrow$ sommets 5, 10, 12 et 13 éliminés
 Sommets en cours : 6 et 8
 Sommet à explorer : 8

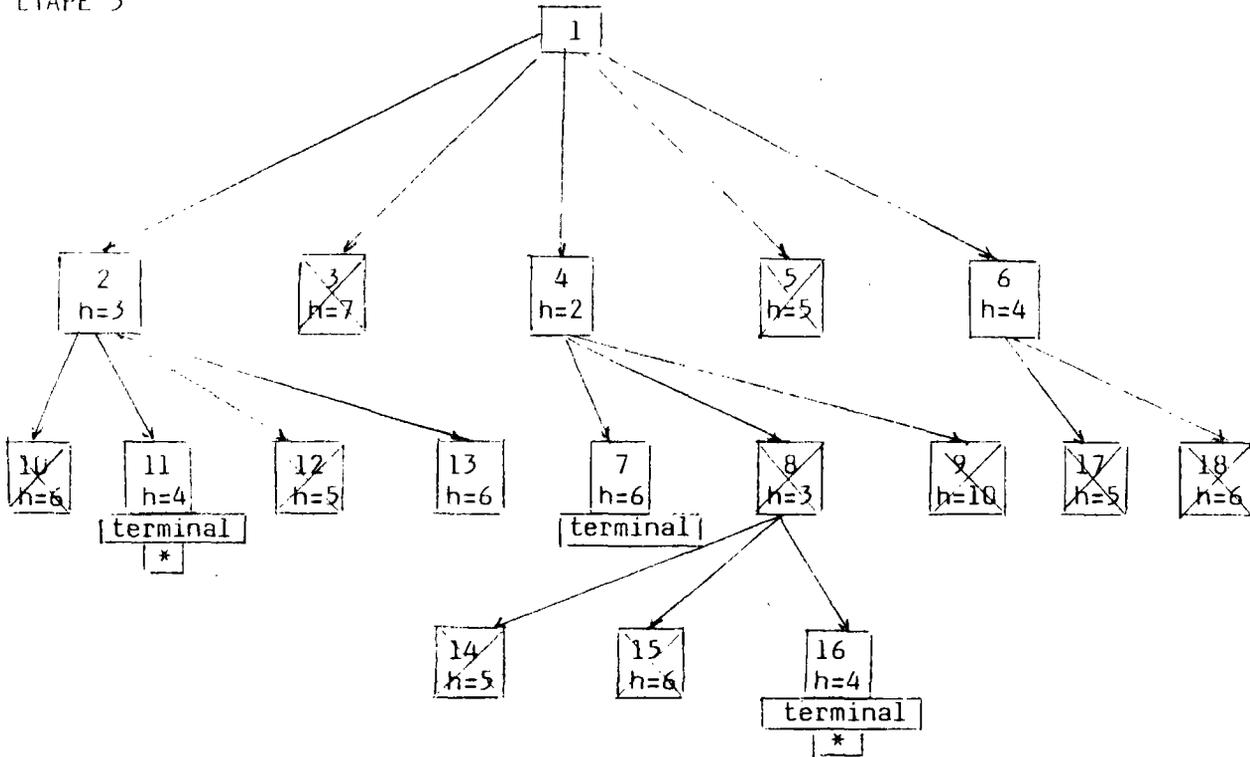
ETAPE 4



16 = sommet terminal : $H = 4 \Rightarrow$ sommets 14 et 15 éliminés. Seul reste en cours le 6. $H(6) = 4 = H = h(16) = h(11)$. Comme 11 et 16 sont deux sommets terminaux, on est déjà sûr qu'ils représentent deux valeurs optimales.

RAPPELS SUR LES PROCEDURES PAR SEPARATION ET EVALUATION

ETAPE 5



$\bar{h} = 4 \Rightarrow$ Sommets 17 et 18 éliminés. Il ne reste plus aucun sommet explorable.

Il y a seulement 2 solutions optimales représentées par les sommets terminaux 11 et 16.

A N N E X E 3

Comparaison des critères de choix de l'étude de David PATTERSON

COMPARAISON DES CRITERES DE CHOIX DE L'ETUDE DE DAVID PATTERSON

	c r i t e r e s d e c h o i x r e t e n u s						
	MT	RSM	FA	RAN	GRU	GRD	MINDUR
% moyen d'augmentation par rapport à l'optimum	5,6	6,8	6,7	11,4	13,1	13,1	15,3
Nombre de fois où le critère obtient l'optimum	24	12	17	4	2	11	1

RSM : d_{ij} minimum avec $d_{ij} = \max(0, (FO)_j - (DA)_j)$, $j \in \Gamma^+(i)$

RAN : rang de la tâche

GRU : utilisation de la ressource maximum

GRD : produit de la ressource par la durée maximum

MINDUR : durée minimale

A N N E X E I V

Problèmes d'atelier

Les problèmes d'atelier apparaissent dans le contexte industriel. cependant il n'est pas rare que des entreprises de bâtiment utilisent des ateliers intégrés dans leur projet. Aussi, allons-nous faire un survol de ces problèmes et présenter un cas de résolution.

Classification

On distingue dans la littérature différentes catégories de problèmes selon les contraintes imposées aux tâches. Dans les problèmes d'atelier, une tâche (Job) correspond au passage d'une pièce sur une machine. Les énoncés académiques peuvent être résumés ainsi :

a) Le "n/m flow-shop"

Il est supposé que chacune des tâches utilise l'ensemble de M machines dans le même ordre. Il existe trois types principaux d'algorithmes pour le "flow-shop" :

- les algorithmes "branch and bound"
- les méthodes d'élimination : trouver un critère pour éliminer la plupart des permutations envisageables
- des heuristiques spécifiques.

Notons qu'il existe un algorithme optimal dont la durée d'exécution ne croît que polynomialement avec la taille du problème dû à S.M. JOHNSON pour la minimisation de la durée totale pour le cas $M = 2$.

Théorème de JOHNSON (39) : Dans le cas où $M = 2$, un job devant passer un temps d_j^1 sur la machine 1, d_j^2 sur la machine 2, un ordonnancement optimal sera obtenu en adoptant la règle suivante :

Règle : le job j devra précéder le job l sur les 2 machines si :

$$\min(d_j^1, d_l^2) \leq \min(d_j^2, d_l^1)$$

Cette règle définit un ordre optimal sur l'ensemble des tâches.

b) Le "n/m job-shop"

L'ordre reste imposé, mais peut différer selon les pièces. La modélisation par graphe conjonctif, formulée par B. ROY (1) a été souvent utilisée pour servir de base à des procédures par séparation et évaluation.

c) Le "n/m open-shop"

Aucun ordre n'est imposé.

d) les problèmes à une machine

Leur énoncé correspond généralement à celui du "n/1 job-shop", avec éventuellement quelques variantes.

Notons deux cas où la solution est formulée par théorème.

Exemple 1 : En posant

d_j = durée du job j
 $(DO)_j$ = sa date de début au plus tôt
 $(DA)_j$ = sa date de début au plus tard
 C_j = date effective de fin du job j

L'objectif est de minimiser :

$$T_{\max} = \max \{T_j\} \quad \text{ou} \quad T_j = \max \{0, C_j - d_j\}$$

Dans le cas statique, la solution est fournie par le théorème de JACKSON (40).

Théorème de JACKSON : On obtient la solution optimale du problème de l'exemple 1 en ordonnant les tâches j suivant l'ordre des $(DA)_j$ croissants.

Exemple 2 : Etant donné n tâches $i = 1, \dots, n$, de durée d_i , soit p_i le poids affecté à la tâche i. Déterminer la séquence des tâches sur une machine de façon à minimiser $\sum_{i=1, n} p_i t_i$ où t_i est la date où la tâche i est terminée.

Dans ce cas, on a :

Théorème de SMITH (2) : On obtient la solution optimale du problème de l'exemple 2 en ordonnant les tâches i suivant l'ordre des $\frac{d_i}{p_i}$ croissants.

On notera que l'exemple 1 et l'exemple 2 sont des variantes du problème du voyageur de commerce (on cherche un chemin hamiltonéen qui minimise une autre fonction économique que la longueur totale du chemin).