

وزارة التربية الوطنية
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT

Genre Industriel

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Suivi et ordonnancement des travaux
d'entretien d'une locomotive G M
en révision générale.*

Proposé par :

*U.E.M.M.A.H
S.N.T.F*

Etudié par :

*ABDELHAQI Salim
BOUIS M^{me} Tayeb*

Dirigé par

M^{re} HADDAU.Z

PROMOTION

Septembre 1993

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التربية الوطنية
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية للتكنولوجيا
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT

Genie Industriel

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Suivi et ordonnancement des travaux
d'entretien d'une locomotive G M
en révision générale.*

Proposé par :

*U. E. M. M. A. H
S. N. T. F*

Etudié par :

*ABDELHADI Salim
DOUIS M^{me} Toujel*

Dirigé par

M^{re} HADDOU. Z

PROMOTION

Septembre 1993

الموضوع : متابعة أعمال صيانة قاطرة خلال عملية المراجعة العامة.
الملخص : حاولنا خلال هذا العمل ترتيب أعمال صيانة قاطرات "جنرال
موتورز" خلال عملية المراجعة العامة, بتطبيق طريقة التقويم
و مراجعة البرنامج.
ثم حسنا النتيجة المحصل عليها, بصقل الموارد حسب إمكانيات
الوحدة, أولا يدويا, ثم آليا. وبعد المقارنة اخترنا الأفضل.

SUJET : Suvi et ordonnancement des travaux d'entretien d'une locomotive en révision général.

RSUME : Dans le cadre de ce travail, on a essayé d'ordonner les travaux d'entretien des locomotives "G.M" durant l'opération de révision général. On a appliqué la méthode technique d'évaluation et de contrôle des programmes "P.E.R.T".

Après, on a amélioré le résultat trouvé en faisant un lissage manuel, puis automatique des ressources suivant les capacités de l'unité. Après la comparaison des résultats, on à choisi le meilleur.

SUBJECT : Connected and shedulling the keeping works of the railway engine "G.M" during a general revision

SUMMARY : In this work, we have tried to order the maintenance operations of the railway engine "G.M" during the general revision. We have applied program evaluation and research task methode "P.E.R.T".

the found results have been improved by manual smoothing, then automatic of they ressources agreeably to they unity capacitys. After the comparison results, we have choosed the better.

DEDICACES

A ma chère mère

A mon chère père

A tous mes frères et soeurs

A tous mes amis

A A.M et A.B

Med. T. DOUIS

A ma chère mère

A mon chère père

A mes frères et soeurs

A tous mes amis

S. Abdelhadi

REMERCIEMENTS

Tous nos remerciements sont adressés à :

- Notre promoteur, Mr HADDAD qui a accepté de diriger ce travail et pour l'assistance qu'il nous a accordée.

Nous remercions également tout le personnel de l'U.E.M.M.AH pour toutes les informations qu'ils ont consenti à nous fournir.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nous ne saurons oublier tous les amis pour leur aide et leur soutien.

Que tous ceux qui nous ont aidés, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire, surtout B.BRAHIM trouvent ici nos remerciements les plus sincères.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
I-PRESENTATION DE L'UNITE.....	3
1- Historique.....	4
2- Organisation et mission de l'unité.....	4
3- Programme d'entretien d'une locomotive.....	12
II- Problématique.....	16
III- PARTIE THEORIQUE: METHODES D'ORDONNANCEMENT.....	21
CHAPITRE 1: DEFINITION ET NOTIONS DE BASE.....	22
1-1 Ordonnancement.....	22
1-2 Planning.....	22
1-3 Tâche.....	23
1-4 Projet.....	23
1-5 Contraintes.....	23
1-6 Ressources.....	24
CHAPITRE 2: RESOLUTION DES PROBLEMES D'ORDONNANCEMENT.....	25
2-1 Les problèmes d'ordonnancement.....	25
2-2 Méthodes de résolution.....	26
2-2-1 Diagramme de GANTT.....	26
2-2-2 Méthodes du chemin critique.....	27
a- Méthode CPM/PERT.....	28
b- Méthode des potentiels tâches.....	29
c- Méthode sérielles.....	30
CHAPITRE 3: LE PROBLEME D'ORDONNANCEMENT PAR LA METHODE PERT.....	31
1 Présentation de la méthode PERT.....	31
2 Construction d'un réseau PERT.....	32
2-1 Conventions fondamentales régissant la construction du réseau PERT.....	33
2-2 Cas particulier d'utilisation des tâches fictives.....	34
3 Le PERT-TEMPS.....	35
3-1 Le chemin critique.....	35
3-2 Dates au plus tôt et au plus tard d'un événement.....	36

3-2-1 Définitions.....	36
3-2-2 Calcul des dates au plus tôt et au plus tard.....	37
3-3 Intervalles de flottement et marges..	38
3-3-1 Intervalle de flottement.....	39
3-3-2 Marges des tâches.....	39
3-3-3 Signification économique et influence sur la durée du projet.	42
4 Méthodologie de la méthode PERT.....	43
4-1 Analyse du projet.....	43
4-2 Analyse du chemin critique.....	43
4-3 Incertitude sur les durées.....	45
IV-PARITE PRATIQUE:APPLICATION DE LA METHODE PERT AU CAS DE U.E.M.M.AH.....	49
1-PERT-TEMPS:.....	50
1-1 Etablissement d'une liste des tâches.....	51
1-2 Détermination des antériorités.....	51
1-3 Estimation des durées d'exécution.....	52
1-4 Construction du réseau PERT.....	53
1-5 Exploitation du réseau PERT.....	54
2-PERT-CHARGES:.....	56
2-1 Lissage manuel des ressources.....	59
2-2 Lissage automatique.....	70
3- Conversion du réseau PERT en un diagramme de GANTT.....	77
4- Etablissement d'un calendrier de travail.....	77
5- Calcul des probabilités d'achèvement du projet.....	78
CONCLUSION.....	80
BIBLIOGRAPHIE.....	84
RESULTATS.....	87
ANNEXES.....	116

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le transport a une grande importance, que nul ne peut nier ou sous-estimer, tant dans la vie quotidienne de l'individu que dans la vie économique . Il constitue, en effet, le miroir qui reflète le degré d'avancement technologique et civilisationnel des nations.

Parmi tous les moyens de transport existants, le transport ferroviaire est des plus importants, vu sa grande contribution à atténuer la pression sans cesse croissante sur le transport, causée par l'accroissement de la population et par l'augmentation des activités industrielles et commerciales.

En Algérie, la société nationale des transports ferroviaires (S.N.T.F) est chargée, dans le cadre de l'organisation du transport terrestre, d'assurer cette fonction à travers tout le territoire national.

Pour assurer un niveau de sécurité maximal, et pour une raison de rendement, la S.N.T.F se voit obligée d'entretenir son matériel moteur (locomotives). En effet, depuis la date de mise en service de la locomotive, celle-ci subit une série d'opérations périodiques d'entretien qui occasionnent, à chaque fois, son immobilisation pendant une durée, plus ou moins longue, selon le type de révision.

Une immobilisation excessive de la locomotive peut coûter chère à l'entreprise et provoquer même des perturbations dans le programme des voyages. Par contre, toute journée de marche supplémentaire est très bénéfique.

Le souci majeur de la direction de la S.N.T.F étant de réduire les durées d'immobilisation des locomotives, une organisation des travaux au sein des unités d'entretien s'avère donc indispensable.

Notre contribution pour la réduction de cette durée se présente par la proposition d'une méthode d'ordonnancement appelée P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technic) basée sur les durées d'exécution des différents travaux d'entretien.

Notre étude a été effectuée au sein de l'unité d'Alger(U.E.M.M.AH) vu qu'elle est considérée comme la plus importante sur le réseau de la S.N.T.F.

Cette étude sera structurée comme suit :

Après une présentation sommaire de l'unité d'accueil, des ateliers et servitudes qui leurs sont liés, nous abordons successivement les points suivants :

- Une partie théorique, où sont présentées les différentes techniques d'ordonnancement;

- Une partie pratique, qui consiste en l'application de la méthode P.E.R.T pour l'ordonnancement des travaux d'entretien d'une locomotive en révision générale;

- Une dernière partie consacrée, comme conclusion, à l'évaluation des résultats et à la proposition de quelques recommandations.

**I-PRESENTATION
DE
L'UNITE**

1-HISTORIQUE :

La société Nationale des Transports Ferroviaires (S.N.T.F) est un établissement public à caractère industriel et commercial (E.P.I.C) dont la mission, confiée dans le cadre de l'organisation des transports terrestres, consiste à assurer et le transport des voyageurs et celui des marchandises. La création du chemin de fer Algerien remonte au temps de la colonisation vers 1844.

Le parc de la S.N.T.F comporte 269 locomotives. Ces locomotives nécessitent un entretien continu, donc des unités d'entretien. L'unité d'entretien du matériel moteur d'Alger-Hamma (U.E.M.M.AH) compte parmi les six unités que possède la S.N.T.F et elle est considérée comme la plus importante du réseau par le rôle de plaque tournante qu'elle joue entre les différents dépôts et ateliers. La répartition des locomotives entre les unités est présentée sur le tableau n°1.

L'unité s'étend sur une superficie totale de 45200 m² dont 26225 m² couverte. Construite en 1929, elle a vu le passage entre plusieurs stades de la maintenance : de la locomotive à vapeur (jusqu'en 1946), en passant par les locomotives diesel-electriques (Bolwin, Alco, Alsthom), jusqu'à l'acquisition des locomotives "General-motors" en 1971.

2-ORGANISATION ET MISSION DE L'UNITE :

L'U.E.M.M.AH a pour mission principale l'entretien préventif des locomotives; sa seconde mission consiste en l'entretien curatif, qui est assuré quand il s'impose. Nous rappelons que :

— L'entretien préventif : c'est l'entretien planifié, en tenant compte du temps et de l'espace.

série des locomotives	ALGER	ORAN	SIDI MABROUH	SOUK AHRAS	MOHAMA DIA	BLIDA	TOTAL PAR SERIE
060 DD	17	06	03	01	00	00	27
060 DF	00	00	16	09	00	00	25
060 DG	00	00	10	04	00	00	14
060 DH	10	13	00	01	00	00	24
060 DL	10	06	08	01	00	00	25
060 DM	10	00	00	00	00	00	10
060 DJ	00	05	11	09	00	00	25
060 WDK	02	00	00	00	02	01	05
060 YDB	00	00	00	00	03	00	03
60 DA	00	04	05	00	00	00	09
600 DB	08	01	00	00	00	00	09
600 DC	06	00	00	00	00	00	06
040 DH	02	03	00	00	00	00	05
060 YDD	00	00	00	00	05	00	05
060 YDA	01	00	00	00	19	05	25
6CE	00	00	00	24	00	00	24
ZZN 200	06	11	09	02	00	00	28
TOTAL	72	49	62	51	29	06	269

TABLEAU N°1 : REPARTITION DES LOCOMOTIVES ENTRE LES UNITEES

- L'entretien curatif : c'est l'entretien, qui dépend d'une mesure prématurée ou d'un dysfonctionnement (avarie).

L'U.E.M.M.AH pour accomplir leurs fonctions, est divisée en cinq sous-direction (voire l'organigramme de la figure n°1). On peut résumer les fonctions et les attributions des sous-direction comme suit :

2-1 Sous-direction du personnel et des finances :

Composée de deux divisions :

a) Division du personnel et formation : Elle s'occupe de :

- la gestion administrative du personnel;
- la gestion de la carrière du personnel;
- l'établissement des fiches de paie;
- l'application de règlement interne de l'unité; et
- la formation de nouveaux agents.

b) Division de la comptabilité et des finances : Elle s'occupe :

- de l'établissement du budget annuel en fonction du plan de charge;
- du suivi et contrôle de la réalisation de ce budget; et
- de la détermination du prix de revient de l'entretien.

2-2 Sous-direction de la maintenance des moyens de production :

Elle est :

- chargée de l'entretien des équipements et des installations fixes et mobiles : entretien des bâtiments, des moyens de manutention, ...etc;
- chargée de la sécurité de la main d'œuvre; et
- responsable du centre de distribution de l'outillage.

2-3 Sous-direction de production : Elle chargée de :

- la fabrication et de la production de certaines pièces;

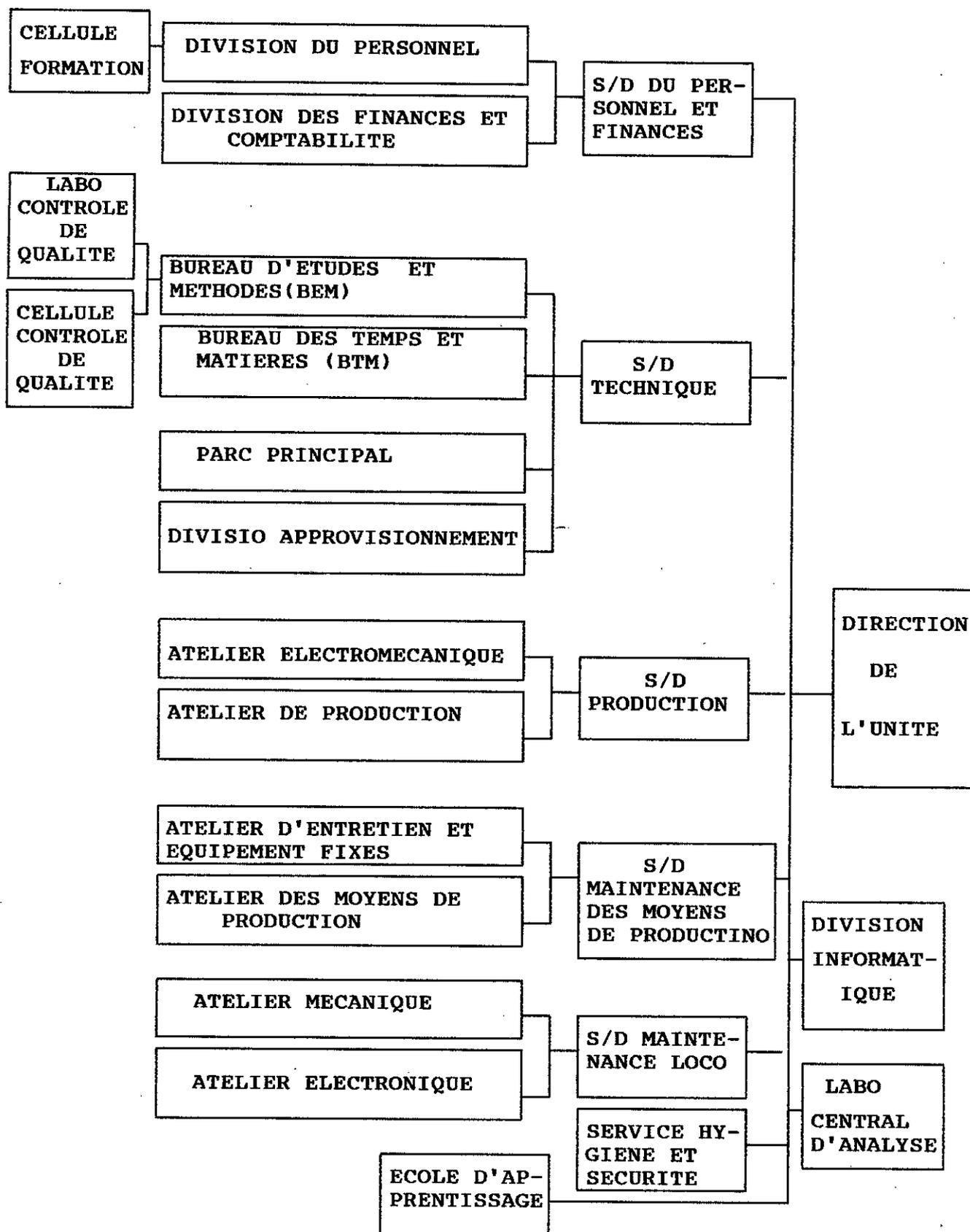


FIGURE N°1: ORGANIGRAMME DE L'UNITE (U.E.M.M.AH)

- les travaux de forge et de fonderie;
- l'usinage des pièces;
- le remise en etats des moteurs electriques; et
- le réparation des organes de roulement.

Vu l'importance des deux dernières sous-directions, du point de vue de ses relations avec les autres structures de l'unité, et pour nous permettre de mieux comprendre ces relations; nous allons les présenter plus en détails .

3-4 Sous-direction de la maintenance de la locomotive :

Cette sous-direction est composée de :

a) l'atelier de montage : suivant un programme pré-établi d'entretien des locomotives GM, il est chargé essentiellement :

- de la réception des locomotives ;
- du démontage partiel;
- du nettoyage;
- du démontage et ventilation des organes sur les différentes sections concernées pour l'entretien;
- de la réception des pièces;
- du remontage et contrôle; et
- de l'essai.

b) Section bogie : cette section s'occupe de l'entretien du bogie, à partir de la reception, puis leur démontage partiel, nettoyage, ventilation des organes vers les différentes sections concernées pour l'entretien, après le

renvoie des organes. la section est chargé de leur remontage et contrôle.

- c) Section chaudronnerie-montage : elle est chargée des différentes travaux de soudure et chaudronnerie au sien de montage.
- d) Section radiateur : elle est chargée de l'entretien des radiateurs et des réfrigérants.
- e) Section contrôle électronique : elle est chrgée de l'entretien des pièces électroniques.
- f) Section banc d'essai et batterie : elle est chargée de l'entretien des batteries, et de faire des essais sur la locomotive après le remontage.
- g) section appareillage : elle est chargée de l'entretien de tout les petits appareils électriques.
- h) Section injection : elle est chargée de l'entretien de injecteurs, des régulateurs, et des indicateurs de vitesse.
- k) Section ajustage : elle est chargée de l'entretien de différentes pièces de frinage ainsi des diveres.
- l) Section moteur nus : chargée de l'entretien de l'ensemble du moteur diésel ainsi que du turbo, du compresseur à air et différents types des pompes.

2-5 Sous-direction technique :

C'est la structure chargée du suivi des travaux et de l'approvisionnement en pièces de rechange; on peut résumer son rôle en énumérant quelques unes de ses fonctions :

- l'elaboration de listes des pièces à reparer ou à entretenir;
- l'etudes des méthodes d'entretien;
- le tarification(des temps); et
- l'acquisition des pièces neuves.

Au sein de la sous-direction technique on trouve :

- le bureau d'etudes et méthodes (B.E.M);
- le bureau des temps et matières (B.T.M);
- le parc principal; et
- la division d'approvisionnement ou magasin.

Suivant le rôle important qui joue le bureau de temps et matières, on va le présenter en détail.

-Bureau des temps et matières :

Il est chargé de l'établissement des bulletins de travaux, à partir des temps prédéterminés, donnés par les tableaux de tarification.

D'autres attributions lui incombent également. nous pouvons, en quelque sorte, résumer le rôle du B.T.M en énumérant ses diverses tâches qui sont :

- 1/ La visite et expertise des pièces venant en réparation dans l'unité;
- 2/ Le lancement des travaux dans les sections;
- 3/ L'établissement des commandes matières nécessaires à la réparation des pièces;
- 4/ l'exécution des marchés.

Les deux premières tâches, sus-citées, sont les plus importantes, vu qu'elles mettent à nu le rôle du B.T.M et ses relations avec les ateliers.

1/Visite et expertise des pièces :Pour réparer une pièce, elle

doit passer par les trois étapes suivantes (reception, expertise, lancement des travaux)

a) Reception des pièces: Les pièces devant être expertisées peuvent provenir soit d'une locomotive, qui est dans les ateliers pour une opération périodique d'entretien, soit suite à une demande de réparation ou d'une demande provenant des autres unités du réseau S.N.T.F (demande n°7021).

1^{ème} cas: Elles proviennent d'une locomotive qu'est dans les ateliers, les opérations sont effectuées à la section "montage". Les pièces doivent parvenir au visiteur, suivant un programme et délai déterminé par la direction d'unité, après potassage et nettoyage.

En principe, les mêmes pièces doivent être montées après réparation. Il est autorisé de se servir des pièces du parc lorsque le temps d'immobilisation des pièces à réparer est important; ceci pour ne pas retarder la date de sortie des locomotives.

2^{ème} cas: Les pièces proviennent par suite à une demande de réparation :

une demande de réparation peut :

- faire suite à une demande d'échange, en provenance d'un dépôt, elle est établie par le parc;
- être établie par le dépôt intéressé. Elle est, dans ce cas adressée directement à l'atelier réparateur. Une telle demande n'est utilisée que pour les pièces symbolisées et prévues uniquement au parc annexe de l'établissement demandeur; et
- être établie par un atelier de l'unité, malgré que la pièce est symbolisée et prévue au parc principale.

Dans les deux premières cas les mêmes pièces sont retournées après réparation.

3^{ème} cas: Les pièces arrivant avec une demande 7021: une telle demande est adressée à l'atelier réparateur pour toutes les pièces non symbolisées au parc. Dans ce cas aussi, c'est la même pièce

qui renvoyée après réparation.

b) Expertise des pièces: Toute pièce à visiter doit être accompagnée d'une demande sauf, pour les opérations périodiques. Dans ce cas, toutes les pièces démontées seront marquées du numéro de la locomotive à laquelle elles appartiennent et seront déposées dans une caisse portant ce numéro.

Après nettoyage de la pièce on passe à l'expertise :une fois la pièce démontée, on fait sortir les dessins et on vérifie :

- l'aspect général:déformations, cassures, fissures ...;
- les diamètres :usure, ovalisation conicité(compte tenu des tolérances);
- les ajustements:libres, doux, serrés, grippage arrachements;
- les épaisseurs :forttement(compte tenu des tolérances).

Des fiches méers sur les quelles figurant toutes les opérations susceptibles d'être effectuées pour la remise en état de la pièce considérée.

c) Lancement des travaux :Les visiteurs établissent les bulletins des travaux en trois exemplaires (primata, duplicata, triplicata), de couleur différentes.

Le travail ne commence dans les sections qu'après avoir reçu les dossiers des pièces(buletins des travaux et fiches suiveuses). Ce dernière, on inscrit dessus les différentes opérations effectuées sur celle-ci.

4- PROGRAMME D'ENTRETIEN D'UNE LOCOMOTIVE :

Durant la vie de la locomotive, elle subie des opérations d'entretien préventif, qui on peut les regroupées en trois classes :

4-1 Opérations d'inspection périodiques : Ces travaux sont réalisé au niveau de dépôt, et elles comprennent :

- L'inspection journalière (IJ): a lieu lorsque la locomotive à parcouru moins de 1000 Km.
- L'inspection complète (I.C) :a lieu lorsque la locomotive a parcouru un trajet compris entre 1000 Km et 2000 Km.

4-2 Opérations des visites périodiques : Elles comprennent :

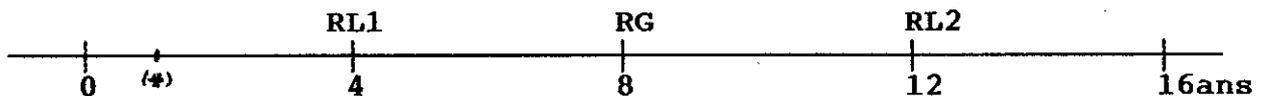
- La visite mensuelle (V.M);
- La visite trimestrielle (V.T);
- La visite annuelle (V.A1);
- La visite bi_annuelle(V.A2).

Notons que les visites périodiques ont lieu au niveau du dépôt d'attache, sauf que pour la V.A2, la locomotive, après la visite, entre dans les ateliers de l'unité pour le remplacement du bogie.

4-3 Opérations de révision périodiques : Ces interventions comprennent :

- la révision limitée (RL1 et RL2);
- La révision générale (RG),
- La grande révision générale (GRG).

Le cycle complet des révisions comprend 3 niveaux d'opérations, suivant le graphique ci-après :



- 1 an ou 150.000 Kms pour les locomotives affectées aux voyageurs.
- 1 an ou 100.000 Kms pour les locomotives affectées à la marchandise.

Il y a donc :

- 2 opérations de niveau 1: RL1 et RL2. ces opérations comprennent, outre les travaux à effectuer tous les 4 ans, les travaux prévus à la VA2. Elles consistent en un démontage partiel de la locomotive, réparation des pièces et remplacement si c'est nécessaire.
- 1 opération de niveau 2 :(RG) Cette opération comprend, outre les travaux à effectuer tous les 8 ans, les travaux prévus à la RL. Il s'agit dans ce type d'opération d'un démontage complet de la locomotive avec remplacement, si nécessaire, par des pièces neuves. Les pièces à réparer sont ventilées vers les sections concernées pour subir les différents travaux de réparation.

Ces travaux qui sont classés comme suit :

- * Travaux de motorisation :Travaux M;
- * Travaux electriques :Travaux E;
- * Travaux aux suspensions (rous, frein, ...etc) :Travaux S;
- * Travaux aux caisses (tolorie, granissage, ...etc) :Travaux G;
- * Travaux de nettoyage, lavage :Travaux N.

- Une opération de niveau 3:(GRG) Cette opération comprend, outre les travaux à effectuer tous les 16 ans, les travaux prévus à la RG. ELLE consiste en un renouvellement total de la locomotive. opération qui n'a jamais été réalisée à cause de son coût très élevé.

La figure n°1 représente les différentes opérations d'entetien que la locomotive a subie pendant sa durée de vie.

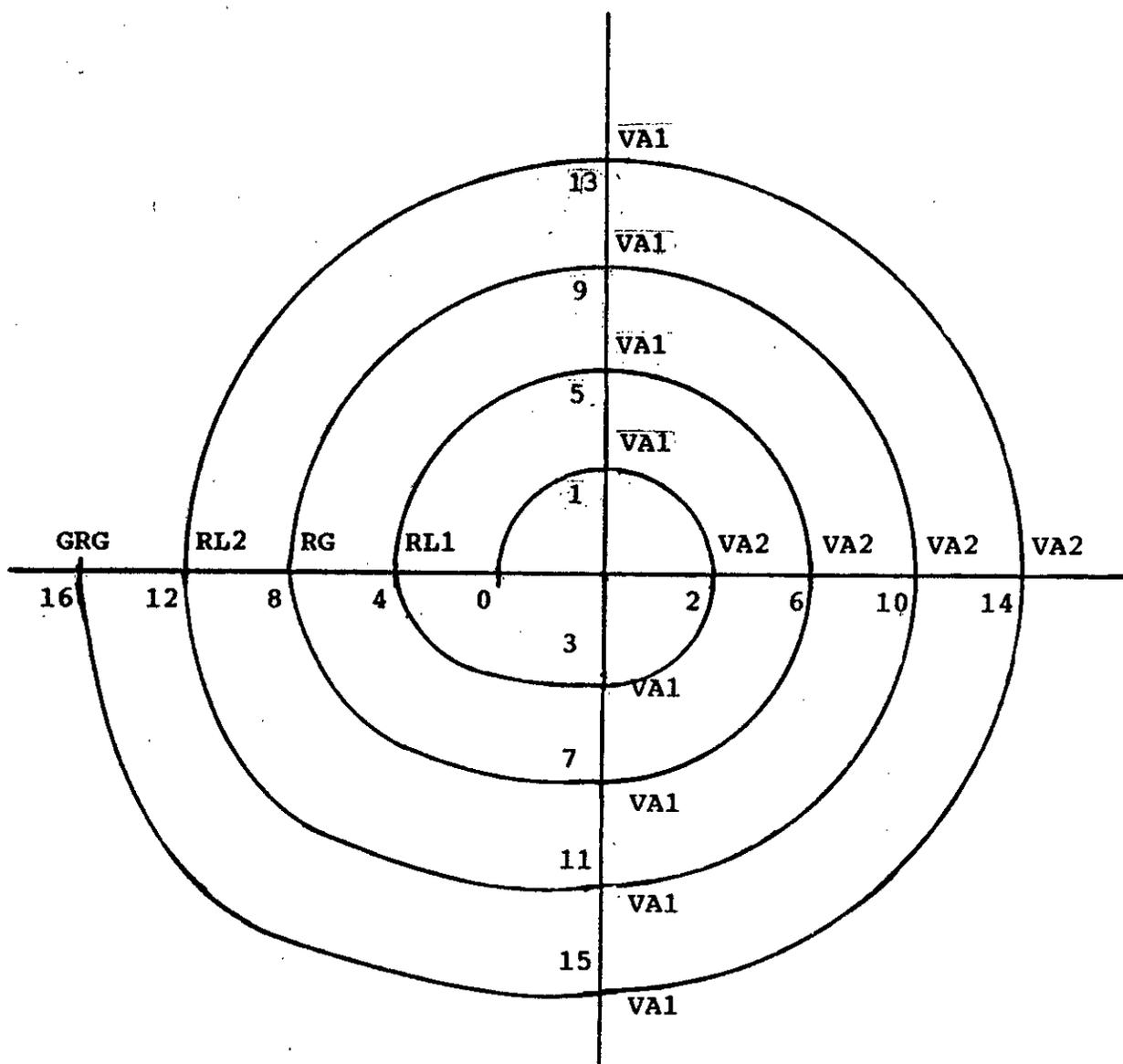


Figure n°2: ENTRETIEN PLANIFIE DES LOCOMOTIVES¹

1-source: U.E.M.M.AH

II- PROBLEMATIQUE

PROBLEMATIQUE :

L'entretien du matériel moteur pose des problèmes spécifiques, car il constitue en soi une fonction particulière de la S.N.T.F.

L'U.E.M.M.AH est la seule unité d'entretien en son genre sur le réseau de la société ferroviaire. De ce fait, elle accueille en son sein toutes les locomotives (G.M) pour subir un entretien suivant le programme préétabli.

L'unité connaît des problèmes divers qui se répercutent sur le délai d'immobilisation des locomotives. Ce délai qui doit être, selon les prévisions de l'ordre de 22 jours ouvrables (fixé par le constructeur) se voit toujours dépassé. Le tableau n°2 met en évidence, pour la seule année 1991 prise comme exemple, les retards commis lors des différentes révisions générales (met à nu le non respect du programme prévisionnel). On peut interpréter ce tableau comme suit:

- En moyenne, la révision générale est réalisée durant 28.4 jours ouvrables, c'est à dire, un retard de 6.4 jours (soit 29% du délai exigé);
- Le plus faible dépassement du délai réalisé sur celui planifié est de l'ordre de 0.00% et le dépassement maximal de l'ordre de 75% ce qui est très excessif, avec une moyenne des délais réalisés sur celles planifiées de l'ordre de 31.14% et un écart-type de 19.95%;
- On a omis de considérer dans nos calculs les délais concernant les locomotives 15(DL01) et 17(DL04) parce que jugés irréalisables pour une révision générale (une planification

- pour 22 et 21 jours et une réalisation en 16 et 12 jours);
- Le délai de 22 jours n'a pas été atteint dans les meilleurs des cas (cas par exemple des locomotives pour lesquelles l'entretien du "turbo" n'a pas été programmé);
 - On fera remarquer que les délais réels de réalisation peuvent être au delà de ceux indiqués sur le tableau. Chose que nous avons nous même constatée lors de notre stage pratique au sein de l'unité d'entretien. En effet, la date de sortie de deux locomotives (DH14 et DH18) ont été enregistrées le 28/02/1993 tandis que la date réelle était le 07/03/93.

Les problèmes rencontrés au sein de l'U.E.M.M.AH et qui ont une influence directe ou indirecte sur le délai d'immobilisation de la locomotive peuvent être résumés comme suit:

- Le problème des pièces de rechange : Ce problème commun à toutes les entreprises en Algérie a un impact direct sur les durées d'entretien. En effet, le manque de pièces neuves pousse à utiliser, en plusieurs fois, les vieilles pièces; ces dernières nécessitent, pour leur entretien(rectification, mise à la côte,...), beaucoup plus de temps que si elles étaient neuves.

- Le problème de la manutention : une perte de temps non négligeable est provoquée par le manque des moyens de manutention(chariots, clarcks, ponts élévateurs en pannes,...).

- Le problème d'organisation : Pour un grand nombre de chefs d'atelier ce problème est le plus important : les retards occasionés dans l'entretien des locomotives sont plutôt d'ordre organisationnel que matériel ou humain. En effet, il y a un manque de coordination entre les différentes sections de l'unité.

Les temps d'attente des pièces (avant ou après la réparation) est parfois exagéré. Aucune des sections n'est désignée comme responsable du retard, vu que les causes de ce dernier n'ont jamais été déterminées.

Etant donné que les deux premiers problèmes rentrent dans le domaine de la politiques financière de l'entreprise, et qui peuvent donc être résolus financièrement, le dernier problème (celui de l'organisation) ne sera résolu que par la contribution de tout le personnel de l'unité (agents exécutants ou chefs dirigeants).

L'application de la méthode P.E.R.T pour l'ordonnancement des travaux d'entretien d'une révision générale (R.G) est, à notre avis, très intéressante pour apporter une solution à ce problèmes d'organisation.

N° DE LA LOCOMOTIVE	PLANIFIE			REALISE			
	DATE D'ENTREE	DATE DE SORTIE	JOURS OUVR- ABLES	DATE D'ENTREE	DATE DE SORTIE	JOURS OUVR- ABLES	% REALL SER
01 DL07(+T)	07/01/91	07/02/91	23	19/01/91	24/02/91	27	17.39
02 DL24	05/02/91	05/03/91	21	17/02/91	23/03/91	25	19.05
03 DL08(+T)	04/03/91	04/04/91	21	01/04/91	30/04/91	22	04.76
04 DL16(+T)	03/04/91	03/05/91	20	02/04/91	20/05/91	35	75.00
05 DL20(+T)	31/05/91	29/06/91	20	22/12/90	30/01/91	29	45.00
06 DF18(+T)	27/06/91	27/07/91	22	19/05/91	30/06/91	30	36.36
07 DL14(+T)	25/07/91	24/08/91	22	17/06/91	28/07/91	30	36.36
08 DL21	22/08/91	21/09/91	21	30/06/91	06/08/91	29	38.10
09 DL03(+T)	19/09/91	19/10/91	21	24/07/91	25/08/91	23	09.52
10 DF17	14/11/91	14/12/91	21	22/10/91	07/12/91	33	57.14
11 DL22(+T)	12/12/91	12/01/92	23	25/11/91	31/12/91	27	17.39
12 DL06(+T)	08/01/91	08/02/91	22	22/12/90	27/01/91	26	18.18
13 DL05(+T)	04/03/91	04/04/91	24	02/02/91	05/03/91	24	00.00
14 DL11(+T)	01/04/91	30/04/91	22	25/03/91	30/04/91	28	27.27
15 DL01	29/04/91	29/05/91	22	28/04/91	20/05/91	16	-72.7
16 DL18(+T)	27/05/91	27/06/91	22	08/06/91	16/07/91	34	54.54
17 DL04	25/06/91	26/07/91	21	26/03/91	10/04/91	12	-57.1
18 DL15(+T)	24/07/91	24/08/91	22	11/08/91	14/09/91	25	13.64
19 DL23(+T)	16/10/91	16/11/91	22	18/08/91	19/09/91	34	54.54
20 DL17(+T)	12/11/91	12/12/91	22	27/10/91	07/12/91	30	36.36

TABLEAU N°2: PROGRAMME D'ENTRETIEN DE L'ANNEE 1991⁽¹⁾

III-PARTIE
THEORIQUE
METHODES D'ORDONNANCEMENT

CHAPITRE 1

DEFINITIONS ET NOTIONS DE BASE

1-1 ORDONNANCEMENT :

L'ordonnancement est l'opération de mise en oeuvre de tâches multiples, de manière à satisfaire au mieux quelques critères fixés à l'avance , tout en respectant les contraintes liant les tâches entre elles [1].

Il s'agit donc ,d'ordonner dans le temps, un ensemble de tâches contribuant à la réalisation d'un même projet , le déroulement de ces diverses tâches doivent respecter certaines contraintes.

1-2 PLANNING :

On peut définir le planning par son but ; ce but est de placer dans le temps l'exécution d'un travail ou le résultat d'un travail d'une action; une production par exemple.

Le placement concerne habituellement un ensemble de travaux qu'il convient d'exécuter.

Nous pouvons dire que le planning est le "modèle" suivant lequel cet ensemble de travaux aura à se placer.le planning, ce modèle, constitue la première phase de l'action :la prévision.

A cette phase s'ajoute deux autres : le lancement et le contrôle.

Un planning, lorsqu'il est complet, exprime les trois décisions suivantes :

- 1_ La définition d'une relation d'ordre dans les opérations qui doivent être réalisées sur les objets de l'action à mener;
- 2_ L'affectation des opérations à exécuter aux moyens destinés à les exécuter;
- 3_ Le placement dans le temps de ces opérations;

1-3 TACHE :

Une " tâche " ou " activité " est une opération. dont l'ensemble forme le projet; on peut donc définir une tâche comme étant l'unité ou l'élément d'un projet. On associe à chaque tâche sa durée et une contrainte d'antériorité par rapport aux autres tâches [2].

1-4 PROJET :

Un projet est un ensemble de tâches ou opérations a,b,c,... permettant d'atteindre un objectif fixé [2].

1-5 LES CONTRAINTES :

Les contraintes auxquelles sont soumises les diverses tâches qui concourent à la réalisation du projet sont de divers types, on distingue :

a/ Les contraintes potentielles : qui sont :

_ Les contraintes de localisation : la tâche i ne doit pas commencer avant telle date, ou, au contraire, doit être achevée à telle date;

_ Les contraintes de succession : l'exécution de la tâche j ne peut être commencée que lorsque la tâche i est achevée, ou,

simplement, lorsque elle se trouve à un certain degré d'exécution .

b/ Les contraintes disjonctives : Elles imposent la disjonction de deux intervalles de temps, relatifs, par exemple, à l'exécution de deux tâches i et j qui ne peuvent être réalisées simultanément .

c/ Les contraintes cumulatives : Elles concernent l'évolution dans le temps du volume total des moyens humains et matériels consacrés à l'exécution des tâches.

1-6 LES RESSOURCES :

On distingue deux types de ressources pouvant être requises par les tâches, les ressources renouvelables et les ressources consommables

_ Une ressource est renouvelable si, après avoir été allouée à une tâche, elle redevient disponible à la fin de cette tâche pour d'autres tâches (machines , personnel , etc...).

_ Une ressource est consommable si, après avoir été allouée à une tâche, elle n'est plus disponible pour les tâches restantes à exécuter(argent, matières premières, etc,...).

CHAPITRE 2

RESOLUTION DES PROBLEMES D'ORDONNANCEMENT

2-1 LES PROBLEMES D'ORDONNANCEMENT :

Les problèmes d'ordonnancement ont un champs très vaste; on peut les regrouper en deux grandes classes :

_ La première classe concerne la production par séries (plus ou moins importantes) en ateliers spécialisés (exemple : fabrication mécanique); ils se posent sur un très court terme (moins d'une semaine) et on cherche à planifier l'utilisation des ressources disponibles, en hommes et en machines, afin de mieux contrôler les coûts et de maîtriser les délais de fabrication .

_ La deuxième classe concerne la production de type "série unitaire", et se définit par une mobilisation de toutes les ressources de l'entreprise pour la réalisation d'un projet de production exécuté sur une assez longue période .

Ainsi, pour qu'il y'ait matière à ordonnancement, il est d'abord indispensable que se présente un grand projet (par exemple : construction d'un immeuble, d'un avion, d'un navire, d'un ouvrage d'art, ou programme de mise en valeur agricole, de mise en route d'usines, de recherche ,...) tel que la réalisation de l'objectif poursuivi impose l'accomplissement de tâches nombreuses et diverses et que ces tâches soient soumises à des contraintes.

2-2 METHODES DE RESOLUTION :

Résoudre un problème d'ordonnancement, veut dire, trouver un ordre d'exécution des tâches compatible avec les contraintes; mais cette solution optimale est choisie suivant le critère fixé (à moindre temps, à moindre coût ,...).

Les méthodes qui permettent de minimiser la durée totale d'exécution du projet, sont celles du "chemin critique "; mais avant d'aborder ces méthodes, on va voir le " DIAGRAMME DE GANTT " qui a été l'outil essentiel des entreprises avant l'apparition des nouvelles méthodes.

2-2-1 DIAGRAMME DE GANTT :

C'est un graphe de planning et de prévision ayant pour but, de mettre en évidence, les durées et de permettre, ainsi, contrôle, à tout moment de l'évolution du projet, par comparaison des réalisations aux prévisions [2].

Principe : On dresse un tableau quadrillé dans lequel chaque colonne correspond à une unité de temps (heure, jour, semaine, mois,...) et chaque ligne à une tâche. Chaque tâche est représentée par une barre horizontale dont la longueur correspond à la durée de la tâche. Cette barre occupe une place correspondante à la période durant laquelle la tâche doit se dérouler .

La progression du travail peut être facilement représentée sur le diagramme, en traçant une autre barre, en pointillé par

exemple, au dessus de la barre représentant la tâche. Cette barre (en pointillé) représentera le travail effectivement accompli depuis que la tâche a été commencée.

Avantages du diagramme de GANTT :

- _ Facilement compréhensible par les exécutants à cause de sa clareté et de sa simplicité.
- _ Peut servir de base à des plans d'action intermédiaires, plus détaillés.
- _ Permet de suivre le déroulement des opérations dans le temps.
- _ Résume, assez bien, l'analyse du projet établie par les responsables respectifs .

Inconvénients du diagramme de GANTT :

- _ Cache les erreurs, de forme et de fond, commises au niveau de l'analyse du projet.
- _ N'autorise pas la rectification ponctuelle de la durée pour une tâche précise.
- _ Ne visualise pas les liaisons existant entre les tâches.
- _ Ne visualise pas la tâche critique.

2-2-2 METHODES DE CHENIN CRITIQUE :

Jusqu'à 1958, les praticiens de l'ordonnancement ne disposaient guère que du "planning" à barres (diagramme de GANTT), pour aborder les problèmes d'ordonnancement.

C'est donc avec un grand intérêt qu'on a vu apparaître, simultanément et indépendamment, deux méthodes nouvelles, fondées

sur la théorie des graphes. Ce sont la méthode CPM\PERT et la méthode des potentiels.

Ces méthodes permettent :

- 1)_ D'établir un ordonnancement, dès l'instant qu'aucune contrainte n'est contradictoire avec une autre;
- 2)_ De déterminer le meilleur temps total nécessaire à la réalisation de l'objectif;
- 3)_ De déterminer les tâches critiques. C'est à dire celles dont l'exécution ne peut être ni retardée ni ralentie sans que la fin de l'ensemble des travaux ne soit décalée du temps correspondant .

a\ Méthode CPM/PERT :

A l'origine C.P.M (critical path method) désignait une méthode permettant de résoudre des problèmes pour lesquelles les durées des tâches sont certaines; P.E.R.T (program evaluation and review technic ou program evaluation research task), désignait une méthode pour des durées aléatoires et certaines. En pratique, ces deux sigles sont devenus synonymes, PERT étant le plus fréquemment utilisé.

Dans cette méthode, on associe au problème un graphe évalué pour lequel on recherche les chemins de valeurs maximales; les sommets du graphe sont des événements identifiés au début et/ou à la fin de tâche(s); les arcs représentent, soit des tâches réelles, soit des tâches fictives permettant de représenter

certaines contraintes potentielles.

Un inconvénient de la méthode C.P.M/P.E.R.T par rapport à la méthode des potentiels est de doubler (initialement) les sommets du graphe car on associe à chaque tâche un événement "début de tâche" et un événement "fin de tâche".

Un avantage de cette représentation est qu'elle est plus facilement lisible par les praticiens car une tâche est représentée par un trait et un seul. De plus, en disposant ces traits horizontalement et en leur donnant une longueur proportionnelle à la durée de la tâche, on présente le graphe P.E.R.T sous forme d'un diagramme de GANTT.

b/Méthode des potentiels-tâches :

Dans cette méthode, chaque tâche sera représentée par un sommet du graphe, les conditions d'antériorité existant entre deux tâches sera représentée par un arc. Le graphe potentiel, proprement dit, sera obtenu en complétant le graphe précédent, par deux sommets D et F, tel que le sommet D soit relié, par des arcs issus de D, aux tâches qui ne sont précédées d'aucune autre tâche et que F soit relié au graphe par des arcs, issus des tâches qui ne sont suivies d'aucune autre tâche; et son chemin critique est le chemin de valeur maximale situé entre les sommets extrémités D et F du graphe.

Cette méthode permet la détermination des tâches critiques et des marges totales des différentes tâches sans qu'il soit

nécessaire de tracer le graphe. Cependant la représentation du graphe permet de mieux visualiser l'ordonnancement, proprement dit des tâches.

Ce qui la différencie de la méthode P.E.R.T c'est que dans cette méthode, il n'est pas nécessaire d'introduire d'arcs fictifs; elle peut aussi comprendre un plus grand nombre d'arcs.

c/ méthodes sérielles :

Il y a plusieurs méthodes heuristiques pour résoudre un problème d'ordonnancement suivant les objectifs. Parmi les méthodes les plus connues, on trouve les méthodes sérielles.

Leur principe est d'établir une liste des tâches, suivant les différents critères (dates , marges ,...). Les tâches sont alors ordonnancées en incrémentant le temps à partir de à l'instant t , on affecte, parmi les tâches prêtes, c'est à dire, celles dont tous les prédécesseurs sont achevés et qui utilisent moins de ressource que la quantité disponible à t , la tâche de plus haute priorité.

Donc, d'après ce principe, les méthodes sérielles ne comportant pas de limitation préalable du temps total d'exécution. On raisonne, donc, sur les ressources et non pas sur les tâches, ce qui ne nous permet pas de minimiser la durée totale du projet.

CHAPITRE 3

LES PROBLEMES D'ORDONNANCEMENT PAR

LA METHODE P.E.R.T

1- PRESENTATION DE LA METHODE P.E.R.T :

C'est quoi le P.E.R.T ?

La méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technic), par fois appelée " méthode du chemin critique", est une méthode d'aide à la décision et un instrument de direction, destinée à définir et à coordonner ce qui doit être fait pour atteindre les buts fixés [3].

Elle est particulièrement adaptée à l'ordonnancement des fabrications d'un produit unitaire complexe (construction d'un pont, d'un ouvrage d'art, d'un bâtiment, etc), à l'ordonnancement des études en général, ou, plus généralement encore, à celui d'un projet.

Quel est son but ?

L'objet essentiel de la méthode P.E.R.T est de mettre en évidence les différentes liaisons qui existent entre les tâches. Ces tâches qui ,grâce à leur dépendance et à leur chronologie, concourent toutes à l'obtention d'un produit fini.

La méthode P.E.R.T a été élaborée, appliquée et mise au point aux Etats-Unis pour la fabrication des fusées polaris, et a permis de gagner une proportion considérable des délais

d'exécution (cinq ans au lieu de sept primitivement prévus).

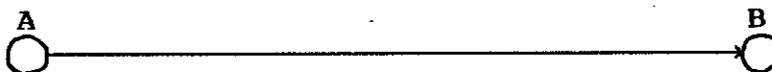
La première particularité de la méthode P.E.R.T, comme la méthode des potentiels, est l'utilisation des graphes ou réseaux maillés pour représenter l'enclenchement des opérations.

L'avantage provient de ce que cette représentation est indépendante du temps et ne représente que les positionnements relatifs des opérations, et ce contrairement aux graphiques d'ordonnancement classiques de GANTT.

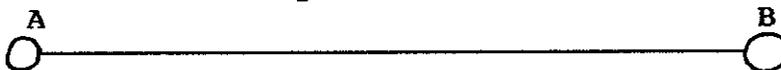
2-CONSTRUCTION D'UN RESEAU P.E.R.T :

Rappelons qu'un graphe est un ensemble de points appelés sommets. Les liaisons sont appelées :

Arcs, si elles sont orientées

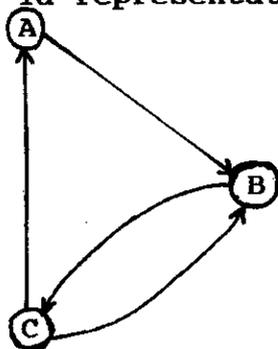


Arêtes, si elles ne le sont pas



Un graphe peut se présenter de différentes façons :

- La représentation classique est dite "sagittale".
- la représentation "matricielle" est aussi souvent utilisée.



sommets
origines

sommets extrémités

	sommets extrémités		
	A	B	C
A	0	1	0
B	0	0	1
C	1	1	0

présentation sagittale

présentation matricielle

Un "chemin " est une séquence d'arcs tels que la fin de l'un coïncide avec le début de l'autre.

Un " circuit " est un chemin fermé sur lui-même.

La construction de tout réseau P.E.R.T doit obéir aux conventions fondamentales ci-dessous :

2-1 CONVENTIONS FONDAMENTALES REGISSANT LA CONSTRUCTION D'UN RSE

AU P.E.R.T

_ Chaque tâche est représentée par un arc et un seul.

_ On représente chaque " étape " par un sommet qui doit être visualisé par un cercle à l'interieur duquel est prévu un système de repérage (numéro ou lettre)

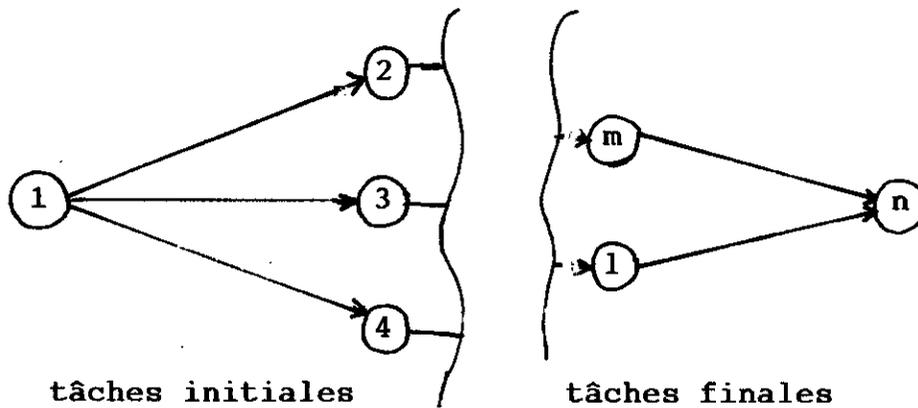
Réalité : étape initiale tâche étape terminale



nom du symbole sommet arc sommet

Definition d'un étape : On distingue, sous le nom d'étapes (ou événements), les instants de début ou de fin d'une tâche(4).

- Toutes les tâches initiales doivent partir du même noeud (sommet), dit "entrée", et toutes les tâches finales doivent aboutir au même noeud, dit "sortie".

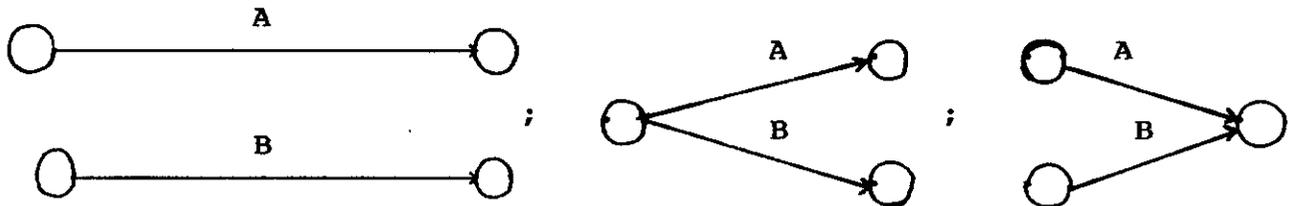


- Le graphe ne doit contenir ni boucles, ni circuits.
- Le graphe devra comporter le moins possible de croisements d'arcs.
- Dans le but de faciliter la consultation du graphe, les flèches sont orientés de la gauche vers la droite.
- La représentation des liaisons entre les tâches varie selon les cas qui se présentent :

* une tâche A précède une tâche B :



* les deux tâches A et B sont simultanées :



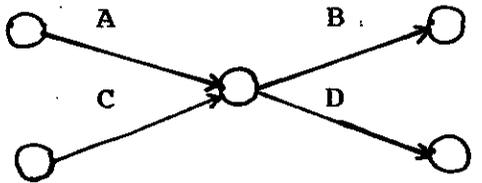
2-2 CAS PARTICULIERS D'UTILISATION DES TACHES FICTIVES :

Définition d'une tâche fictive : C'est une tâche de durée nulle . Elle permet de solutionner certaines situations complexes, par exemple lorsque deux ou plusieurs opérations sont menées parallèlement ou lorsque deux ou plusieurs tâches ont même sommet

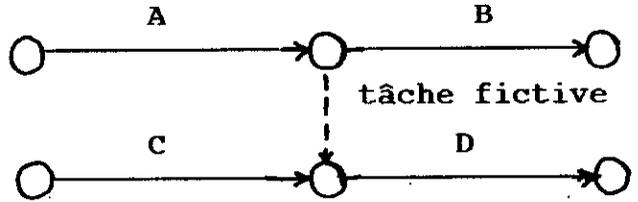
initial et même sommet terminal[5].

Exemples :

-Les tâches B et D suivent la tâche A ,et D suit la tâche C :

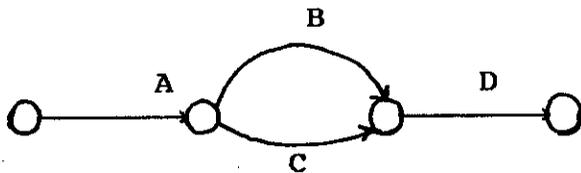


représentation incorrecte

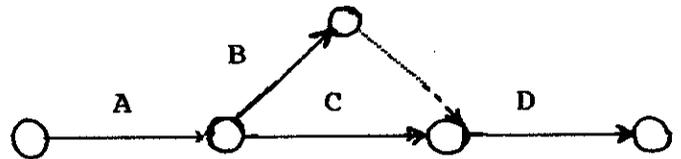


représentation corecte

-Deux tâches, B et C, ont les mêmes étapes de début et de fin :



représentation incorrecte



représentation correcte

3-LE P.E.R.T -TEMPS :

En attribuant à chaque opération une durée prévisionnelle quant à son exécution, il nous sera possible de mettre en évidence "un chemin critique". Dès que ce chemin sera établi (et implicitement les " dates au plut tôt" et "dates au plus tard") il sera donc possible de convertir le graphe P.E.R.T en diagramme de GANTT, et de contrôler aisément le déroulement des travaux.

La détermination des marges à partir du calcul des dates au plus tôt et au plus tard, permettra, en outre, de connaître le temps encore disponible par tâche, la marge de manoeuvre dont

nous disposons, de détecter certains retards, d'imputer les responsabilités, et d'apporter les actions correctrices qui s'imposent.

3-1 Le chemin critique :

C'est le chemin formé de l'ensemble des activités devant être accomplies à temps, si l'on veut que le projet soit achevé dans les délais prévus. Autrement dit, c'est le chemin qui met en évidence les opérations qui conditionnent le délai final d'un réseau. Ces opérations sont alors appelées "tâches critiques" [6].

Donc, pour réduire le délai final d'un réseau, il faut obligatoirement réduire les tâches situées sur le chemin critique. Inversement, tout allongement d'une tâche critique recule le délai final.

3-2 Dates au plus tôt-dates au plus tard d'un événement :

3-2-1 Définitions :

a/Date au plus tôt d'un événement : C'est la date avant laquelle cet événement ne peut se réaliser.

b/Date au plus tard d'un événement : C'est la date limite de la réalisation de cet événement. Si l'événement venait à se réaliser après la date, le projet tout entier ne pourrait jamais se réaliser dans le délai correspondant à la longueur du chemin critique.

3-2-2 Calcul des dates au plus tôt et au plus tard :

On considère un projet comportant n tâches ($i=1, \dots, n$). Les dates de début des tâches qui sont nos variables seront notées t_i . Les durées des tâches, qui sont données, seront notées d_i .

Dans le graphe associé à ce problème d'ordonnancement on associe le sommet a_i à la tâche i . On ajoutera à ces sommets $a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n$ un sommet \bar{a} représentant le début des travaux et un sommet \bar{b} représentant la fin des travaux.

Les dates t_i de début des tâches vont alors apparaître comme les valeurs $t(a_i)$ d'une fonction potentiel définie sur l'ensemble des sommets du graphe .

On pose $t(\bar{a})=0$, ce qui désigne la date de début des travaux. D'autre part , la date $t_f=t(\bar{b})$ sera la date de fin des travaux que l'on cherche à minimiser . Sur les arcs (a_i, a_j) , on définit une longueur convenable $d(a_i, a_j)$.

La date de début de l'événement a_i étant notée $t(a_i)$, on notera alors:

$\underline{t}(a_i)$ = la date de début au plus tôt de l'événement a_i .

$\bar{t}(a_i)$ = la date de début au plus tard de l'événement a_i .

3-2-2-1 Date de debut au plus tôt et au plus tard :

-Le calcul des dates au plus tôt se fait par marquage successif des sommets, en partant du début du réseau. A une étape quelconque de la procédure, on pourra marquer un sommet a_i si tous ses précédents sont marqués, c'est à dire, si on a déjà déterminé leurs dates au plus tôt, en choisissant la plus tardive des différentes échéances possibles lorsque plusieurs flèches arrivent au sommet .d'où

$$\underline{t}(a_j) = \text{Max}[\underline{t}(a_i) + d(a_i, a_j)] \quad (1)$$

$a_i \in P(a_j)$

$P(a_j)$ = l'ensemble des sommets précédant a_j

-Pour obtenir les dates de début au plus tard, notées $\bar{t}(a_i)$, on procède par marquage successif en partant de la fin du réseau. On pourra alors marquer un sommet a_i (si tous les sommets suivants, formant l'ensemble $S(a_i)$, sont marqués), en choisissant la plus précoce des différentes échéances possibles lorsque plusieurs flèches partent du sommet. D'où

$$\bar{t}(a_i) = \min_{a_j \in S(a_i)} [\bar{t}(a_j) - d(a_i, a_j)] \quad (2)$$

$S(a_i)$ = l'ensemble des sommets suivants a_j .

3-2-2-2 Date de fin au plus tôt et au plus tard :

Les dates de fin des tâches i , $i=1, \dots, n$, sont notées t'_i .

-La date de fin au plus tôt d'une tâche i :

$$t'_i = t(a_i) + d(a_i, a_j) \quad (3)$$

a_i et a_j étant les sommets initial et final de la tâche i

-La date de fin au plus tard d'une tâche i :

$$\bar{t}'_i = \bar{t}(a_i) + d(a_i, a_j) \quad (4)$$

3-3 Intervalle de flottement et marges :

Pour affiner le suivi des opérations et le contrôle de la ponctualité quant au respect des dates au plus tôt et au plus tard, il devient alors indispensable de se pencher sur le degré de liberté dont il dispose, pour éventuellement augmenter la durée d'une tâche, sans pour cela compromettre la fin du projet dans les délais impartis.

Chercher à modifier les dates au plus tôt et au plus tard

, sans modification du délai de réalisation du projet, suppose que nous aillons à notre disposition, les "intervalles de flottement" pour chaque étape ou événement. S'intéresser d'avantage aux tâches qu'aux événements pour connaître la marge de manoeuvre dont on dispose face aux événements de début et de fin qui encadrent la tâche, sous entend que l'on s'intéresse aux "marges".

3-3-1 Intervalle de flottement :

On appelle intervalle de flottement d'une tâche ou "Battement", la durée, comprise entre ses dates au plus tôt et au plus tard , où l'on peut réaliser un événement sans compromettre le délai de réalisation du projet[2].

3-3-2 Marges des tâches :

Les marges ont pour fonction d'évaluer le délai dont on peut retarder une tâche sans "trop modifier" l'ordonnancement. On distingue trois sortes de marges, pour chaque tâche:marge totale, marge libre et marge certaine.

a/Définition de la marge totale :

La marge totale M_T d'une tâche i est le retard maximum que l'on peut apporter à son démarrage sans perturber la date d'achèvement du projet.

Marge totale =début au plus tard - début au plus tôt
=fin au plus tard - fin au plus tôt

$$\text{Marge totale de la tâche } i = M_T(i) = \bar{t}(a_i) - t(a_i) \quad (5)$$

$$= \bar{t}(a_j) - t(a_i) - d(a_i, a_j) \quad (6)$$

b/Definition de la marge libre :

La marge libre M_L d'une tâche i , est le retard maximum que l'on peut apporter à son démarrage, sans perturber la date de réalisation au plus tôt de la tâche suivante.

Marge libre = début au plus tôt de la tâche suivante

- durée de l'opération concernée

- début au plus tôt de la tâche concernée

= début au plus tôt de la tâche suivante

- fin au plus tôt de la tâche concernée

$$M_L(i) = \underline{t}(a_j) - \underline{t}'(a_i) \quad (7)$$

$$= \underline{t}(a_j) - \underline{t}(a_i) - d(a_i, a_j) \quad (8)$$

c/Definition de la marge certaine :

La marge certaine d'une tâche i , M_c , est le retard maximum que l'on peut apporter à son démarrage, sans perturber la date de réalisation au plus tôt de l'événement suivant, l'événement précédent ayant commencé à sa date au plus tard .

Marge certaine = début au plus tôt de la tâche suivante

- fin au plus tard de la tâche concernée

- durée de l'opération concernée

$$M_c(i) = \underline{t}(a_j) - \bar{t}(a_i) - d(a_i, a_j) \quad (9)$$

équivalente à zéro si cette valeur est négative.

3-3-3 Signification économique et influence sur la durée du projet:

Pratiquement, la marge totale représente la fluctuation maximale pour la tâche considérée, à condition qu'elle ait commencé le plus tôt possible.

Si le retard égale la marge totale, la tâche ne dispose d'aucune marge, elle devient, alors, critique, de même qu'un certain nombre de tâches qui lui succèdent.

Par ailleurs, si le retard dépasse la marge totale, c'est la date de fin du projet qui se trouve alors décalée.

Si une tâche commence à sa date au plus tôt, et si sa durée est augmentée de sa marge libre, il n'y a pas de perturbation dans la suite du projet. Un retard supérieur à la marge libre se représente sur les tâches suivantes en diminuant leurs marges.

4 METHODOLOGIE DE LA METHODE P. E. R. T :

4-1 Analyse du projet :

Avant de lancer un projet il faut en avoir clairement défini l'objectif (minimisation du délai, du coût, ou des deux). Une plus grande efficacité résultera d'une formulation complète et précise des objectifs dès l'origine du projet.

Ceci fait, et pour un grand projet, le nombre de tâches à prendre en considération est beaucoup trop important pour ne pas nécessiter une étude systématique. Le projet sera, donc, décomposé en ses grandes lignes; celles-ci seront découpées, à leur tour, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'on parvienne au degré de détail souhaité.

Ainsi, le projet est décomposé en tâches, dont les objectifs, aussi soigneusement précisés que possible, concourent à la réalisation de l'objectif final.

Une fois la liste des tâches établie, il faut préciser comment elles se succèdent, c'est à dire, déterminer les antériorités , ce qui permettra de tracer le graphe du projet. Il ne reste plus, alors, qu'à numéroter les tâches et déterminer la durée la plus probable de chacune des tâches. (par souci de logique, on cherchera à donner aux étapes proches de la fin des numéros supérieurs à ceux des étapes proches du début).

4-2 Analyse du chemin critique :

Après le calcul des dates au plus tôt et au plus tard, des marges et des intervalles de flottement, qui sont nécessaires pour la détermination du chemin critique, et après l'obtention de ce dernier, on passe à l'analyse de ces résultats. Pour les tâches critiques, il n'y a pas de décision à prendre puisqu'on ne dispose d'aucune liberté à leurs égards : elles doivent commencer et s'achever aux dates prévues.

Il est fréquent toutefois que le délai total calculé pour le projet dépasse le délai souhaité par le chef du projet. On doit alors étudier les conditions dans lesquelles ce délai peut être raccourci.

La méthode P.E.R.T permet de résoudre ce problème. En effet, pour réduire le délai total du projet, il faut soit diminuer la durée d'une ou de plusieurs tâches dont on avait prévu initialement qu'elles se succéderaient.

La durée d'une tâche est souvent fonction de l'importance des moyens employés pour la réaliser ou du type de techniques utilisées. On peut, donc, la réduire en augmentant la quantité des moyens mis en oeuvre ou en modifiant la technique prévue.

Mais si l'on décide de diminuer la durée de certaines tâches critiques, on diminue également la durée totale du projet. On diminue donc, par contre-coup, les marges des tâches non critiques. Certaines de ces marges peuvent devenir nulles et les tâches deviennent critiques. Un ou plusieurs nouveaux chemins critiques qu'il faut s'attacher si l'on veut réduire le délai de nouveau.

La diminution de la durée d'une tâche se traduit par une

augmentation des coûts, il faut, alors, étudier ce critère (le coût), en ce qui concerne les tâches non critiques. En général on utilise la liberté mise en évidence par la méthode P.E.R.T pour améliorer la rentabilité du projet, c'est à dire, pour en diminuer le coût. Pour cela on peut chercher à diminuer le coût de chacune des tâches non critiques du projet en utilisant des moyens inférieurs à la normale. Les délais de réalisation s'en trouvent augmentés, mais cela est sans importance tant que les marges ne sont pas absorbées.

4-3 Incertitude sur les durées :

En pratique, et surtout pour les problèmes d'entretien, de recherche et de développement, les durées d'exécution ne sont pas connus en avance; plus, elles sont sujettes à des aléas importants, ou même très conjoncturelles.

la méthode P.E.R.T propose, pour la résolution de tels problèmes, l'estimation des durées d'exécution. Ces durées estimées sont au nombre de trois :

_ Un temps optimiste (A): c'est le temps minimal possible dans laquelle, l'opération peut être accomplie; C'est à dire, le temps nécessaire pour terminer une tâche si tout se déroule au mieux[3], tel que :

$$P\{ \Delta < A \} = 0 \quad \text{et} \quad P\{ \Delta < A + \varepsilon \} > 0 \quad (10)$$

Δ étant la durée de l'opération .

_ Un temps plus probable (M) : C'est le temps vraisemblable qu'il faut pour accomplir la tâche; c'est à dire le temps le plus

réaliste[3].

_ Un temps pessimiste (B):C'est le temps maximale possible dans lequel l'opération peut être accomplie; c'est à dire ,le temps que l'opération prend si tout va mal [3], et tel que :

$$P\left\{ \Delta > B \right\} = 0 \quad \text{et} \quad P\left\{ \Delta > B - \varepsilon \right\} > 0 \quad (11)$$

Parmi les distributions de probabilité, la seul qui peut être utilisée pour les évaluations intuitives, par exemple pour les prévisions des temps aléatoires, est la loi "BETA", car , elle est unimodale, dis-symétrique et bornée (voir annexe n°1).Sa moyenne est donnée par :

$$m=T=\frac{1}{6} \left[A + 4M + B \right] \quad (12)$$

et son Ecart-type par la formule :

$$\sigma = \frac{1}{6} \left[B - A \right] \quad (13)$$

Ces deux paramètres seront utilisés pour estimer la durée totale du projet.

Soit $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ n variables aléatoires (indépendantes) et $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_n$ leurs moyennes respectives et $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$ leurs écarts types respectives.

Soit X une variable aléatoire telle que :

$$X = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n$$

on cite les théorème suivants:

Théorème 1:La moyenne de n variables aléatoires indépendantes est égale à la somme des n moyennes de ces variables

$$m(X) = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \dots + \mu_n \quad (14)$$

Théorème 2: La variance de la somme des n variables aléatoires est égale à la somme des variances respectives des n variables aléatoires

$$\sigma^2(X) = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_n^2 \quad (15)$$

on suppose que la durée d'exécution des tâches critiques sont des variables aléatoires, et en utilisant les deux théorèmes ci-dessus on aura :

$$DT = \sum_{i=1}^n T_i \quad (16)$$

où

DT = durée totale du projet;

T_i = durée prévue de la tâche critique i;

et

$$\sigma_T = \left(\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

où

σ_i = écart-type de la tâche critique i ;

σ_T = écart-type de projet.

Théorème de tchebichef-markov : (central limite)

On suppose que la somme des variables aléatoires (indépendantes) est $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n$ avec sa moyenne $m = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \dots + \mu_n$ et sa variance $\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_n^2$. La variable aléatoire X est constituée par la somme réduite

$$X = \frac{\Delta - m}{\sigma}$$

qui suit, à la limite la loi de Gauss centrée réduite .

On applique cette théorème sur la méthode P.E.R.T après qu'on suppose que la durée total du projet est une variable aléatoire,

qui suit une loi normale de paramètres DT comme moyenne, et σ_T comme écart-type. On aura le résultat suivant :

la distribution de probabilité des durées d'exécution d'un projet composé de plusieurs tâches est proche de la distribution normale et que cette approximation est proche de l'exactitude lorsque le nombre des tâches est grand(c'est à dire plus de 10 tâches sur le chemin critique).

Donc on peut écrire :

$$D \text{ ————— } \rightarrow N(DT , \sigma_T) \quad (18)$$

$$Z = \frac{D - DT}{\sigma_T} \text{ ————— } \rightarrow N(0 , 1) \quad (19)$$

Alors la probabilité de respecter la date d'achèvement prévue de projet est donnée par la formule suivante:

$$P\left\{ D \leq DT \right\} = P\left\{ \frac{D - DT}{\sigma_T} \leq 0 \right\} = 0.5 \quad (20)$$

Et la probabilité d'achever le projet au plus tard à la date t sera donnée par l'expression suivante :

$$P\left\{ D \leq t \right\} = P\left\{ \frac{D - DT}{\sigma_T} \leq \frac{t - DT}{\sigma_T} \right\} = P\left\{ Z \leq \frac{t - DT}{\sigma_T} \right\} \quad (21)$$

Les valeurs de la probabilité seront tirées à partir de la table de la loi normale.

IV-PARTIE

PRATIQUE

**APPLICATION DE LA METHODE P.E.R.T
AU CAS DE L'U.E.M.M.AH**

APPLICATION DE LA METHODE P.E.R.T AU CAS DE L'U.E.M.M.AH

Pour la Société Nationale des Transports Ferroviaire(S.N.T.F), l'entretien du matériel moteur représente un volume de dépense qui mérite un effort réel d'organisation. De plus, des délais extrêmement stricts sont assignés aux planificateurs des programmes d'entretien, car le coût d'immobilisation des locomotives est généralement très élevé. Toute journée de retard est lourde de conséquences économiques. Inversement, toute journée de marche supplémentaire est très intéressante .

Toutes ces considérations rendent nécessaire la mise sur pied de procédures d'ordonnancement très efficaces .C'est ce qui nous a conduit à appliquer la méthode P.E.R.T .En effet, certaines caractéristiques de l'entretien des locomotives font que cette méthode soit, à priori, bien adaptée :

- Les divers travaux d'entretien n'ont pas de caractère répétitif;
- L'ordre, dans lequel ces travaux doivent être entrepris, est rarement indifférent;
- De nombreux travaux, parallèles et de même nature, sont effectués simultanément dans les différents ateliers de l'unité.

On commencera par l'application du PERT-TEMPS, qui permet de contrôler les délais d'exécution, puis le PERT-CHARGE qui traite le problème des charges.

2-LE PERT-TEMPS :

Nous aurons, pour ordonnancer les travaux par l'utilisation du

PERT-TEMPS, à :

- Analyser les tâches à conduire;
- Déterminer les temps prévus pour chacune des tâches .
- Placer en ordre logique les tâches, en déterminant les dépendances des tâches entre elles ;
- Etablir le réseau P.E.R.T, de façon à déterminer les délais découlant de l'ensemble et les dates de lancement et d'achèvement de chaque tâche.

Le traitement de ces données sera fait en utilisant le progiciel PROJECT(voir sa description en annexe n°2).

1-1 Etablissement d'une liste des tâches :

Tout travail d'ordonnancement commence par l'établissement d'une liste des tâches, ou opérations, qui concourent à la réalisation de l'objectif fixé.

Les différentes tâches, effectuées lors d'une révision générale "RG", sont regroupées dans le tableau n°1 de la partie "résultats". Elles ont été déterminées après consultation des bulletins de travaux , délivrés par le B.T.M, et grâce à l'aide apportée par les chefs d'ateliers et sections qui nous ont fait suivre de plus près le déroulement des travaux, nous permettant ainsi de diviser les grandes opérations en tâches élémentaires (cas des organes démontés et dont quelques unes des pièces sont ventilées vers d'autres ateliers de réparation).

1-2 Détermination des antériorités :

Après avoir établi la liste des tâches, on procède à la détermination des antériorités .Ce travail consiste à désigner,

pour chaque tâche, la ou les tâches qui la précèdent et celles qui la suivent. Ensuite, on les classe suivant leur ordre logique d'exécution et ceci pour nous permettre un bon suivi des opérations du début jusqu'à la fin du projet.

Ce travail a été réalisé en questionnant les chefs d'ateliers et des sections sur les circuits, suivis par les pièces, et sur le moment d'exécution de chaque tâche vis à vis des autres tâches.

les résultats de ce travail sont regroupés dans le tableau n°2 en partie "résultats".

1-3 Estimation des durées d'exécution des tâches :

La détermination des temps prévus est le fondement même sur lequel repose la fonction ordonnancement .

La prévision des temps est indispensable pour :

- Permettre la meilleure préparation du travail possible ;
- Permettre la comparaison du temps passé au temps prévu ;
- Permettre de prévoir les charges de travail.

De ce fait, nous avons demandé aux chefs d'ateliers de nous donner, pour chaque tâche, trois temps en répondant aux questions suivantes :

* Si tout se passe au mieux, quel est le temps que vous prévoyez?

C'est le temps optimiste.

* Si tout se passe au pire, quel temps prévoyez vous?

C'est le temps pessimiste.

* Quel est le temps qui vous paraît le plus vraisemblable?

C'est le temps réaliste.

On prévoit alors les temps moyens et on calcule les écart-types.

L'estimation de ces temps tient compte des moyens techniques utilisés, du phénomène de fatigue des pièces, du nombre d'agents disponibles et de leurs qualifications.

Les résultats obtenus, pour les temps prévus, sont donnés au tableau n° 3 dans la partie "Résultats".

1-4 Construction du réseau P.E.R.T :

La propriété de la méthode P.E.R.T de représenter un planning par un réseau a une grande importance, car elle nous permet de connaître immédiatement les relations entre les tâches, qui permettent de décrire totalement la structure logique des travaux.

Le réseau P.E.R.T a été élaboré après avoir bien défini quelles sont les tâches élémentaires qui doivent précéder et suivre immédiatement chaque tâche, c'est à dire, après une description complète par antécédants et par conséquents (La description par antécédants est suffisante pour décrire complètement le réseau).

L'ordonnement du graphe (réseau) nous a permis de vérifier que le graphe ne contient pas de circuits et qu'il est connexe. Etant donné que la méthode P.E.R.T n'étudie que des graphes sans circuit et sans boucles. Cet ordonnancement consiste à reclasser les sommets en les groupant par niveaux.

Le réseau P.E.R.T présenté en partie "Résultats" comprend 34 niveaux :

- Le premier niveau correspond à la tâche n°1 (réception de la

locomotive dans les ateliers).

- Le dernier niveau correspond à la tâche n°264 (peinture et décoration de la locomotive).

1-5 Exploitation du réseau : Détermination du chemin critique et du délai de réalisation du projet.

Pour chaque sommet du réseau, on peut avoir les dates attendue et limite, c'est à dire, les dates au plus tôt et au plus tard de chaque tâche, ainsi que les marges totales.

Pour le sommet final, sa date attendue correspond au délai de réalisation du projet. On la considère donc également comme date limite de réalisation du projet.

Le chemin qui détermine la date attendue du sommet final du réseau constitue le chemin critique. Le progiciel PROJECT détermine ce chemin critique. Il est représenté sur le réseau en double traits. On a 25 tâches critiques qui portent les numéros : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 18, 44, 50, 51, 255, 256, 257, 258, 259, 261, 262, 263, 264.

Sur le tableau n°4, présenté en partie "Résultats", donnant les dates au plus tôt et au plus tard ainsi que les intervalles de flottement pour chaque tâche, on remarquera que pour les tâches critiques sus-citées, les dates au plus tôt sont égales aux dates au plus tard, et donc leurs intervalles de flottement sont nuls. Ce qui veut implicitement dire que tout retard sur l'exécution d'une tâche critique engendre un retard équivalent sur la durée totale du projet.

La date de début d'exécution du projet correspond à la date

de début de la première tâche (tâche n°1). On a fixé cette date pour le 2/janvier/1993 à 7^h30. La date de fin du projet correspond à la date de fin de la dernière tâche (264: peinture et décoration de la locomotive).

En tenant compte des horaires de travail de l'unité :5 jours par semaine, de 7^h30 à 16^h30 , et en tenant compte aussi de la demie heure de pause pour le repas, la date d'achèvement du projet sera donc le 31/janvier/1993 à 10^h06 .c'est à dire que la durée totale du projet est de 21,3 jours ouvrables ou 181,04 heures ouvrables.

Le chef du projet (ou les chefs d'ateliers et contremaîtres, responsables du suivi des travaux d'entretien) devra donc, s'il veut respecter ce délai, surveiller de très près les tâches critiques en fournissant tous les moyens nécessaires pour que leur déroulement se fasse aux dates prévues. En cas d'éventuels retards ou avances constatés, recalculer les dates de certaines tâches non critiques pour essayer de redresser la situation le plus rapidement possible. Il essayera, si cela est possible, de prélever des moyens prévus sur des opérations qui se trouvent en avance, pour renforcer ceux que l'on a engagés sur des opérations qui se trouvent en retard. Il visera à respecter partout les dates limites prévues.

La connaissance du chemin critique (donc des tâches critiques) est certes nécessaire, mais elle n'est pas suffisante pour pouvoir contrôler le déroulement du projet. Les responsables du suivi des travaux devront faire, aussi, attention aux tâches qui sont

"presques" critiques et le deviendront si le chemin critique cessait de l'être. Plus l'intervalle de flottement d'une opération est faible, plus cette opération est proche d'être critique. L'établissement d'une liste des tâches presque critiques et donc nécessaire. Le responsable fixera la longueur des intervalles de flottement qu'il jugera suffisante. Nous avons pris, comme exemple, une longueur égale à une journée de travail (c'est à dire 9 heures de travail). Les tâches possédant des battements de cette valeur sont celles portant les numéros suivants:

15, 70, 127, 128, 130, 221, 227, 239, 240, 241, 242, 246, 247, 248, 251, 253, 260.

Toutes ces tâches ont des intervalles de flottements compris entre 0 et 9 heures ($0 < I.F < 9$).

2-LE PERT-CHARGE :

Les résultats obtenus par l'application du PERT-TEMPS donnent un ordonnancement incomplet vu que ce dernier ne tient compte que du facteur "temps". Les ressources, ou les moyens, utilisées pour aboutir à un tel ordonnancement ont été considérées comme illimitées. Or, en réalité ce n'est pas le cas. en introduisant pour chaque opération les ressources disponibles qui concourent à son exécution, le PERT-TEMPS a mis en évidence les dépassements des besoins par rapport aux capacités de l'U.E.M.M.AH .

On introduit alors, la notion de "ressource critique" qui désigne la ressource pour laquelle il y a un dépassement de capacité.

LES ressources prises en considération concernent essentiellement la ressource humaine. pour les moyens de manutention, seuls les ponts élévateurs sont pris en compte, vu leur nombre réduit et leurs utilisation commune par plusieurs sections de l'unité. Ceci peut influencer, même à un degré moindre, sur le cours des travaux.

Le tableau n°3 présenté ci-après donne la liste de toutes les ressources considérées avec leurs capacités respectives.

les ressources critiques sont les suivantes:

N°	Désignzation	Capacité	N°	Désignzation	Capacité
01	Motoriste	7 agents	19	Ajust-frein02	1 agents
02	Électricien	3 agents	20	Ajust-frein03	2 agents
06	Appareillage01	2 agents	21	Ajust-divers	4 agents
07	Appareillage02	2 agents	22	Radiateur	3 agents
08	Appareillage03	2 agents	28	Forge	3 agents
16	Ajust-culbuteur	3 agents	31	Pont3T/1	3 ponts
17	Ajust-pompes	3 agents	34	Potass2901	4 agents
18	Ajust-frein01	2 agents	39	Outillage01	1 agent

Il faut donc adapter le réseau P.E.R.T d'une RG, obtenu par la progiciel PROJECT, à la réalité, c'est à dire, aménager les ressources critiques. Cet aménagement des ressources porte le nom de "lissage charge-capacité". Au début, nous ferons un lissage manuel à l'aide du progiciel "PROJECT", puis nous passerons au lissage automatique, à l'aide d'une heuristique. On comparera les deux résultats obtenus et on selectionnera le meilleur.

TABLEAU N°3:LISTE DES RESSOURCES

N°	Désignation	Capacité	N°	Désignation	Capacité
1	Motoriste	7,0	29	Tours	7,0
2	Électricien	3,0	30	Pont210t	1,0
3	Graisser	1,0	31	Pont3T/1	3,0
4	Carcasse	10,0	32	Control-electro	3,0
5	Agent-batterie	1,0	33	Soudure	7,0
6	Appareillage01	2,0	34	Potass2901	4,0
7	Appareillage02	2,0	35	Potass2902	6,0
8	Appareillage03	2,0	36	Potass_carcasse	2,0
9	Injection303	3,0	37	Pont3T/2	2,0
10	Injection309	1,0	38	Chaudr_montage	7,0
11	Injection3091	2,0	39	Outiallge01	1,0
12	Machine-outils	5,0	40	Outiallge02	1,0
13	Chef-motoristes	1,0	41	Menuiserie	2,0
14	Ajust-turbo	3,0	42	Bobinage	15,0
15	Ajust-compresse	3,0	43	Roues	7,0
16	Ajust-culbuteur	3,0			
17	Ajust-pompes	2,0			
18	Ajust-frein01	2,0			
19	Ajust-frein02	1,0			
20	Ajust-frein03	2,0			
21	Ajust-divers	4,0			
22	Radiateur	2,0			
23	Moteurs nus	6,0			
24	Chaudronnerie	8,0			
25	Bogie	10,0			
26	Peinture	4,0			
27	Banc d'essai	2,0			
28	Forge	3,0			

2-1 Lissage manuel :

La lissage manuel se fait par un "dialogue" entre l'utilisateur et le progiciel PROJECT, en traitant les ressources critiques une par une. Pour éliminer, ou du moins diminuer, le dépassement de capacité d'une ressource, on procède de deux manières possibles :

- Créer une relation d'antériorité entre les tâches utilisant la même ressource critique et considérées simultanées par le PROJECT.
 - Diminuer les besoins d'une tâche en une ressource critique en augmentant sa durée de réalisation par rapport au temps prévu.
- Cette procédure, suivi pour faire le lissage manuel, est traduite en un algorithme que nous présentons ci après.

ALGORITHME

ETAPE 1: Choisir une ressource critique et aller à l'étape 2.

ETAPE 2: - Déterminer toutes les journées(ou heures), dans lesquelles il y a un dépassement de capacité;
- Choisir le premier jour (ou la première heure);
- Aller à l'étape 3.

ETAPE 3: - Déterminer toutes les tâches non critiques auxquelles la ressource est affectée;

- Déterminer les tâches qui disposent d'une grande marge totale.
- Créer des relations d'antériorité entre elles.
- Tester si la durée totale du projet a changé:
 - si oui, aller à l'étape 4;
 - si non, aller à l'étape 5.

ETAPE 4: - Annuler les relations d'antériorité;
- Choisir le jour suivant et revenir à l'étape 3.

ETAPE 5: Tester s'il y a encore un dépassement de capacité:
si oui, aller à l'étape 6;
si non, choisir le jour (ou heure) suivant et revenir à l'étape 3.

ETAPE 6: -Créer de nouvelles relations d'antériorité.
-Tester si la durée totale du projet n'a pas changé:
si oui, aller à l'étape 5;
si non :

-Annuler les relations d'antériorité qui ont été créées et essayer d'autres.

-Vérifier s'il y a encore de dépassements de capacité dans les cas étudiés:

si c'est le cas, voir si ce dépassement est acceptable:

si oui aller à l'étape 8;

si non aller à l'étape 7.

si non refaire le travail.

ETAPE 7: Voir s'il y a possibilité de diminuer les besoins de certaines tâches :

si oui, aller à l'étape 5;

si non, aller à l'étape 8.

ETAPE 8: Vérifier si tous les jours sont traités:

si oui aller à l'étape 9;

si non choisir le jour(ou heure)suivant et revenir à l'étape 3.

ETAPE 9: Voir si toutes les ressources critiques sont traitées

si non: Choisir une nouvelle ressource critique et revenir à l'étape 1;

si oui: Fin.

Au cours du lissage manuel, on a détecté trois types de ressources critiques :

- 1^{er} type: Ce sont les ressources affectées à des tâches non critiques disposant de grands intervalles de flottement. Le lissage de ce type des ressources, est facilement réalisé avec la création de simples relations d'antériorité.
Exemple:ajust-divers,ajust-frein01.

- 2^{ème} type: Ce sont les ressources affectées aussi bien à des

tâches critiques qu'à des tâches non critiques disposant de petits intervalles de flottement.

Le lissage de ce type de ressources est difficilement réalisé. Heureusement, on a deux ressources seulement de ce type (motoristes et électriciens), et on pourra, pour régler le problème du dépassement de capacité, faire appel à un agent (ou plus) d'une autre équipe de travail pendant le(s) jour(s) où ce dépassement se présente.

3^{ème} type: Ce sont les ressources sur lesquelles on ne peut faire de lissage car elles sont affectées avec d'autres ressources aux mêmes tâches. On a une seule ressource de ce type (celle portant le numéro 31 correspondant au pont 3E/1). La caractéristique de cette ressource est qu'elle n'est, heureusement, pas utilisée durant tout le temps d'exécution des travaux auxquels elle est affectée.

On a abouti, comme résultat final du lissage manuel, à une diminution du nombre de ressources critiques. Ce nombre s'est réduit à trois.

Pour régler le problème de la ressource "motoristes", on doit avoir recours à deux agents d'une autre équipe pour un jour, et un agent pour deux autres jours. Par contre, pour la ressource "électriciens", l'apport d'un agent supplémentaire est nécessaire pendant 9 jours.

Notons que le lissage des ressources a engendré une

augmentation de la durée totale du projet de 12.75 heures. Cette dernière devient donc égale à 193.8 heures ouvrables (22.9 jours ouvrables). Après le lissage manuel, la liste des antériorité se trouve donc modifiée, en conséquence des modifications exercées en exécutant l'algorithme.

Sur le tableau n°3 nous avons présenté seulement les tâches qui ont subi des changements en ce qui concerne leurs antécédants.

Nous allons présenter quatre exemples des différents types de ressources critiques. Sur les figures présentées ci-après, on peut comparer l'état des ressources avant et après le lissage.

TABLEAU N°4: RELATIONS D'ANTÉRIORITE
CRÉÉES PAR LISSAGE MANUEL

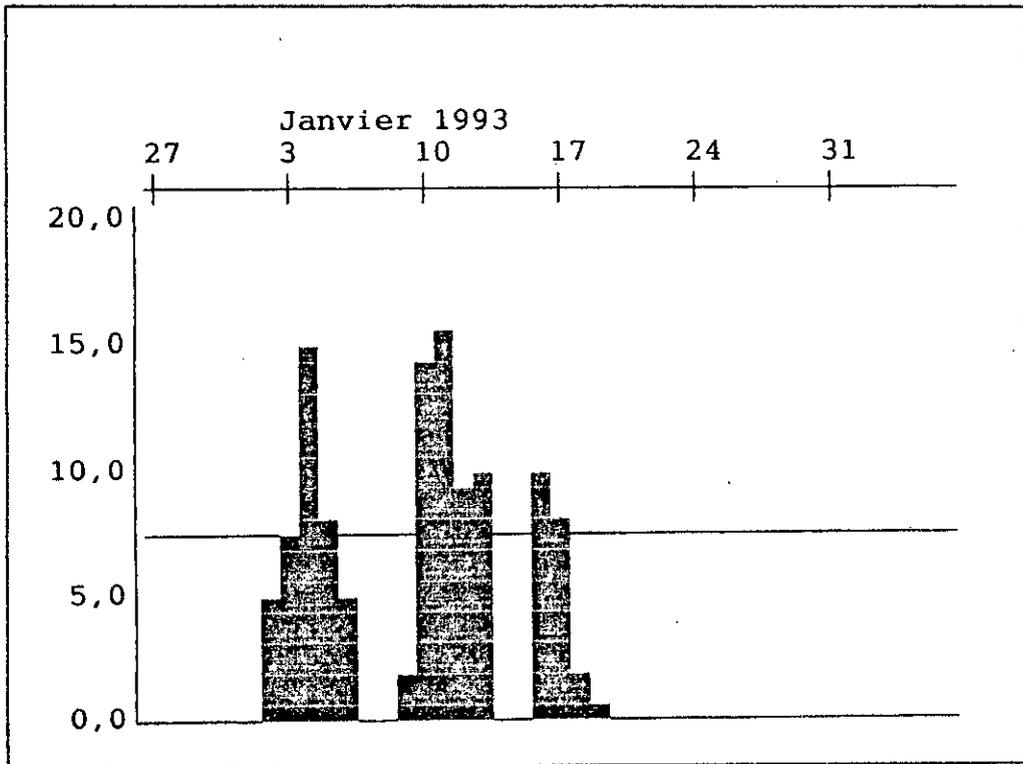
N°	Ancien antécédents	antécédants à ajouter
12	10	11
15	7	24
16	7	12
20	7	25
22	1	21
23	7	27
30	1	6
31	1	28
32	1	31
35	28	30
36	1	34
37	1	2
38	1	36
39	38	32
40	1	2
42	1	40
43	8	35
44	15,18,17,19,20,21,24,25,26, 27,36,37,42,43,41	11
50	44	49
58	36	55
59	36	57
60	43	53
62	36	59
63	34	54
66	39	56
73	22,71	72
74	22,71	73
75	22,71	74
78	20	81
84	15	83
85	15	82
86	15	84
87	15	85
88	10	81
89	12	81
93	19	91
95	27	93
96	27	95
97	27	96
99	27	97
101	21	100
102	21	101
103	15	94
104	25	103
106	21	105
107	21	106
109	25	104
111	26	110
114	5	112
115	27	107
116	19	104
117	21	116

TABLEAU N°4: (suite)

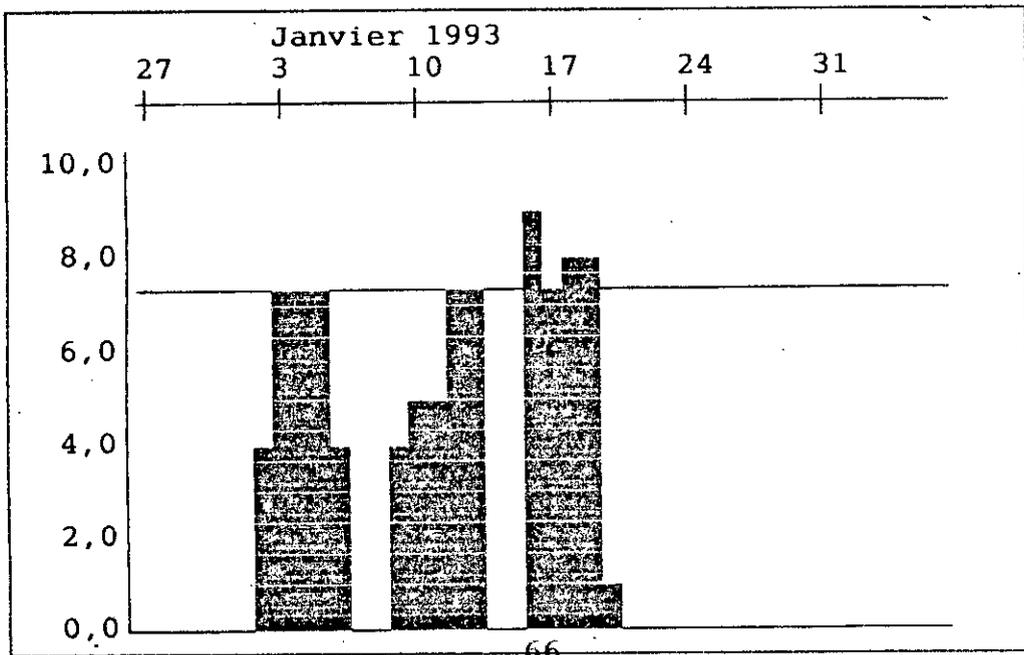
118	9	110,114
119	44	118
123	16	122
125	25	124
126	13	18
129	127	78,88,89
167	166	161
169	46	165
170	150	169
171	139	111
172	139	171
173	169	161
174	150	167
175	147	174,173
176	120	175
183	139	114
203	186	44
204	160	44
219	55,44,76	45
220	67	258
222	51,57,58,59,62	221
224	64	219
225	53,44	224
227	51,134	222
229	228,182	233,245
230	207,132	233
232	108,44	50
233	44,109,104,200,125,199	235
234	64	44
236	47,78	46
237	100,101,102,106,105,107,121 109,117,98	46
241	89,90,240	246
243	73,74,75,44,72	237
244	95,96,97,99,115	243
246	81,82,83,84,85,86,87,70,94 103,135	244
249	65,122	223
252	51,63	251
254	51,61	252
255	133,51	254
262	261	203,204

EXEMPLE N°1: RESSOURCE "MOTORISTES"

1^{er}: avant lissage manuel

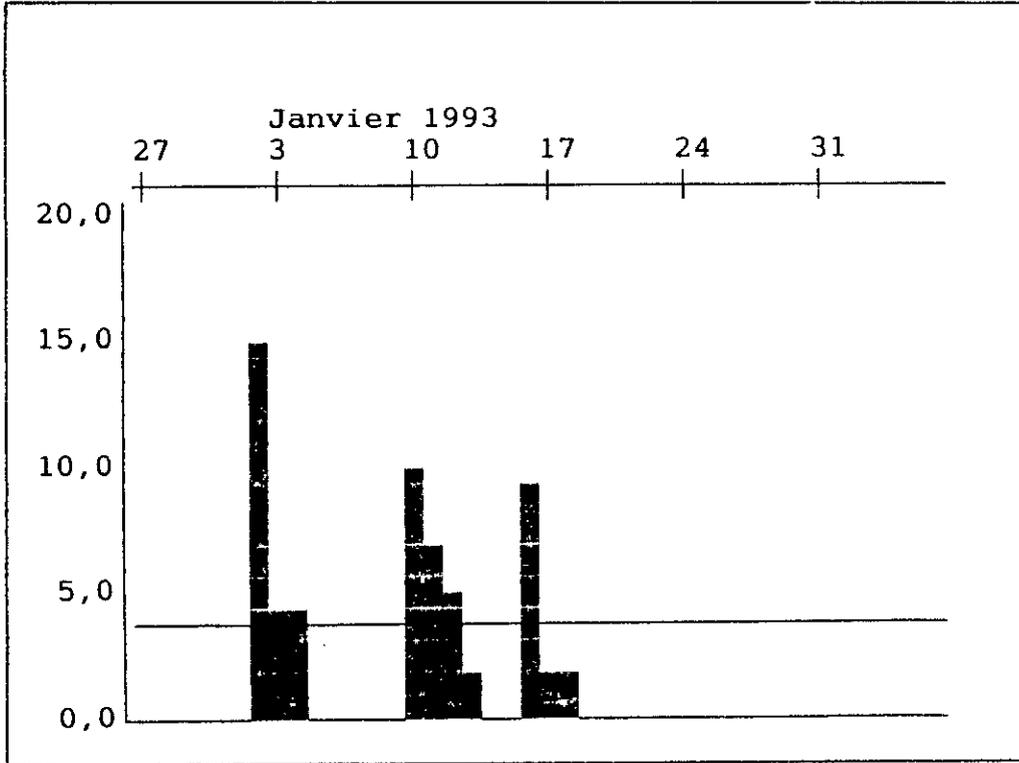


2^{ème}: après lissage manuel

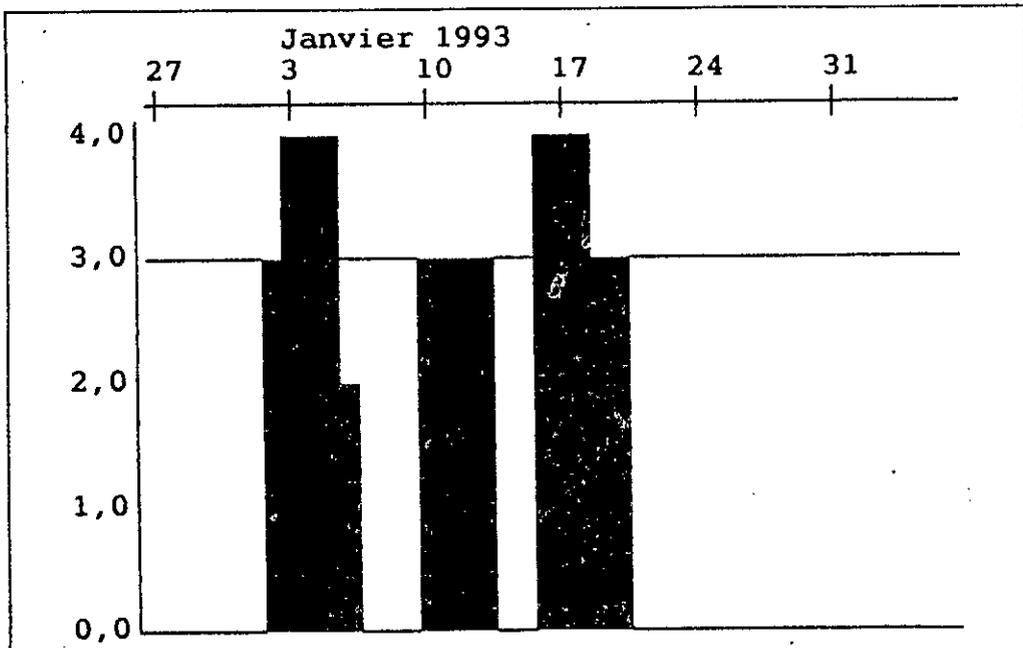


EXEMPLE N°2: RESSOURCE "ELECTRICIENS"

1^{er}: avant lissage manuel

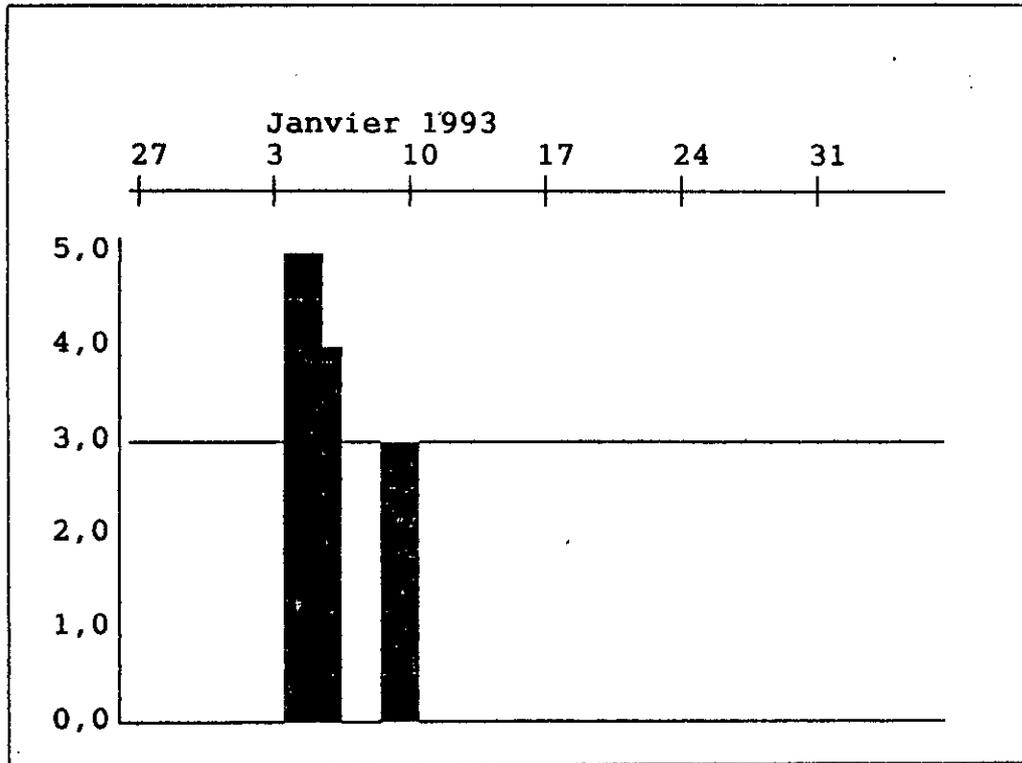


2^{ème}: après lissage manuel

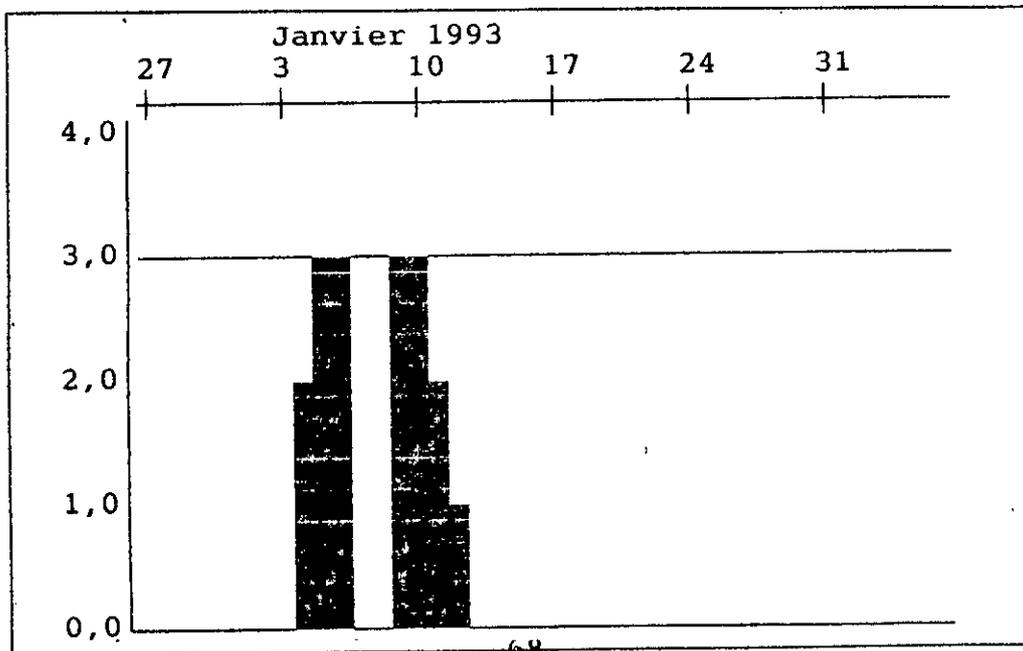


EXEMPLE N°3: RESSOURCE "RADIATEUR"

1^{er}: avant lissage manuel

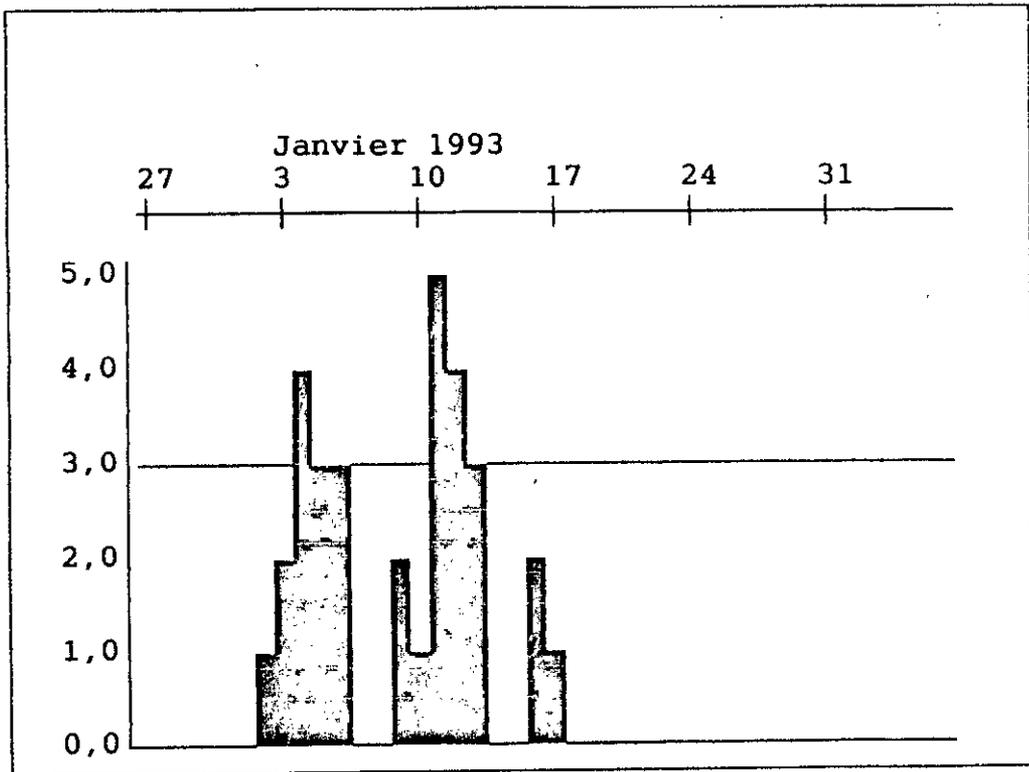


2^{ème}: après lissage manuel

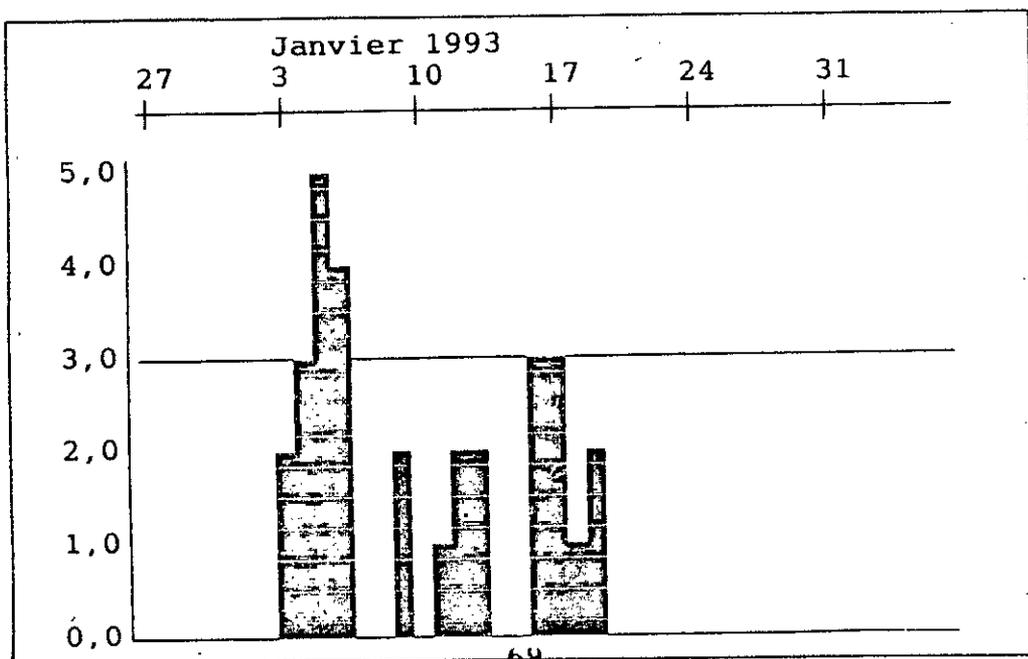


EXEMPLE N°4: RESSOURCE "PONT3T/1"

1^{er} : avant lissage manuel



2^{ème} : après lissage manuel



La première méthode d'aménagement des ressources, dite "lissage manuel", que nous venons de réaliser, présente des inconvénients qui rendent son utilisation peu conseillée. De ces inconvénients, nous pouvons en citer les suivants :

- Cette méthode ne nous garantit pas le lissage de toutes les ressources. Chose qui est difficile, vu que ces dernières sont affectées à des tâches critiques ou presque critiques, et qui ont donc une influence directe sur le retard ou non du projet;

- L'utilisation de cette méthode nécessite beaucoup de temps d'où le risque de ne pas aboutir à une solution satisfaisante. On voit mal un responsable d'un grand projet (comme celui de l'entretien des locomotives) en train d'essayer toutes les possibilités pour arriver à une solution (sachant que ce problème est NP_difficile, il va falloir donc faire toutes les combinaisons entre les tâches et les ressources critiques).

Pour toutes ces raisons, une résolution de ce problème par une méthode heuristique s'impose. Chose que nous aborderons dans la partie qui va suivre.

Nous présenterons l'heuristique choisie qui sera suivie de son application au cas de l'U.E.M.M.AH.

2-2 LISSAGE AUTOMATIQUE :

Le lissage automatique, qui se fait par l'établissement d'un programme informatique, s'avère indispensable du moment que le lissage manuel déjà appliqué, est jugé comme un "tatonnement" pour lequel la possibilité de réalisation et la qualité des résultats dépendent du nombre de tâches à lisser.

Pour cela, nous devons:

- déterminer une liste d'installation dans laquelle les tâches sont classées suivant un certain ordre de priorité;
- Localiser les tâches dans le temps.

a-la détermination de la liste d'installation: On appelle "installation" la mise en place dans le temps des différentes tâches. l'installation doit être menée selon un ordre d'urgence préétabli[18]:

- Celui d'une liste par dates de "début au plus-tard" croissantes;
- Celui des marges totales croissantes(en cas d'égalité des dates de début au plus-tard);
- Celui des durées d'exécution croissantes en cas d'égalité des marges totales.

C'est sur ces bases que notre liste d'installation des travaux d'entretien d'une locomotive en révision générale a été établie.

b- le critère de localisation d'une tâche: La localisation d'une tâche i résulte d'une part, du respect de l'ensemble des contraintes ascendantes, et d'autre part, de la règle du non dépassement de la capacité des ressources et qu'on peut traduire par la relation suivante[18]:

$$S_k - (I)_r \geq (I)_i \quad (22)$$

où

- S_k est la capacité de la ressource k à ne pas dépasser;
- $(I)_r$ est l'intensité requise par les tâches déjà installées;
- $(I)_i$ est le besoin de la tâche i en ressource k .

Cela doit être vérifiée pendant toute la période donnée par l'intervalle [LI, LS] où :

$$LI = T_o - \tau$$

$$LS = LI + (\Delta)_i - 1$$

T_o : l'instant de localisation de la tâche;

$(\Delta)_i$: la durée de la tâche i

c- Consignation du résultat de l'insatallation : Pour remédier au problème de dépassement de capacité des ressources critique, on fait appel à l'un des procédés suivants :

- Soit par affectation d'une date imposée comme date de début au plus-tôt de la tâche installée;
- Soit par allongement adéquat des contraintes ascendantes;
- Soit par création de nouvelles relations de dépendance.

Pour notre cas de l'U.E.M.M.AH on choisi le premier procédé.

ALGORITHME DE RESOLUTION : En possession des éléments nécessaires (ordre d'urgence, critère, ...) il est alors possible d'établir un programme basé sur les directives de l'algorithme suivant :

ALGORITHME

Etape 1 : Determiner une liste d'installation des tâches à lisser

Faire $i=1$ et aller à l'étape 2

Etape 2 : Vérifier si tous les antécédants de la tâche i sont localisé.

si oui, aller à l'étape 3

sinon, remplacer la tâche i par la tâche (i+1) et aller à l'étape 2.

Etape 3 : Voir si tous les antécédants ont été achevés avant la

date de début au plus-tôt de la tâche i

si oui, aller à l'étape 4

sinon, prendre $DO_i = \max_{k \in p(i)} \{ DO_k + (\Delta)_k \}$ et aller à l'étape 4

Etape 4: L=1

Examiner si l'intensité disponible $S - (I)$ entre les limites $LI=(DO)$ et $LS=(DO) + (\Delta)$ est supérieure ou égale à (I)

si oui, aller à l'étape 5

sinon, aller à l'étape 6.

Etape 5: Tester si $L \geq NPGR(i)$

si oui, aller à l'étape 7

sinon, faire $L=L+1$ et aller à l'étape 4.

Etape 6: Rechercher les bornes les plus proches, BI et BS, entre lesquelles l'intensité disponible est supérieur ou égale à (I) et aller à l'étape 4.

Etape 7: Localiser la tâche i à la date imposée $DI=LI$.

Tester si $i \geq N$

sinon, faire $i=i+1$ et aller à l'étape 2

si oui, FIN.

Dans l'algorithme, on a:

DO :date de début au plus-tôt;

p(i) :ensemble des antécédants de la tâche i;

NPGR(i) :nombre des ressources que la tâche i utiliseé.

MISE EN OEUVRE DE L'ALGORITHME: L'heuristique, que nous avons programmé pour faire le lissage automatique, a été testée sur des problèmes de différentes tailles, et elle a donné de bons

résultats.

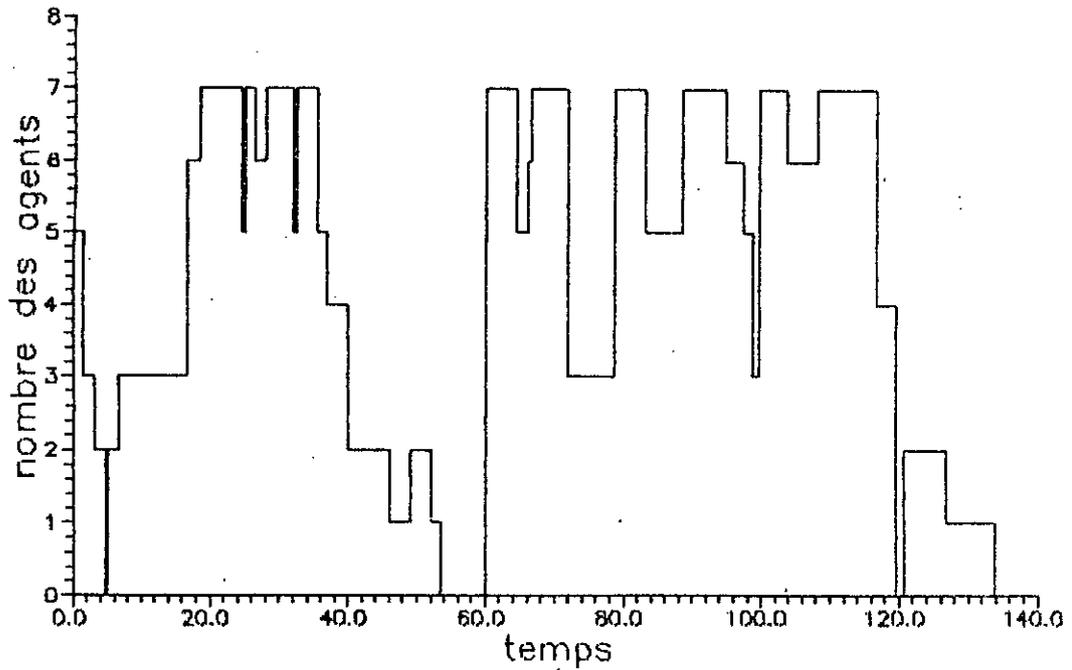
Pour le cas de l'U.E.M.M.AH, le résultat obtenu a été satisfaisant, car la durée totale du projet est raisonnable, c'est à dire 201.8 heures ouvrables (23.74 jours ouvrables) avec aucun dépassement de capacité; ceci peut être vérifié par les courbes n°1,2,3,4, qui représentent la situation des ressources qui portent les numéros 1,2,22,31 après le lissage automatique.

La durée du lissage automatique, représente une augmentation de 11.46% par rapport à la durée proposée par le logiciel PROJECT, et une augmentation de 4.12% par rapport à celle trouvée par le lissage manuel, qui laisse les ressources 1,2,31 avec un dépassement de capacité.

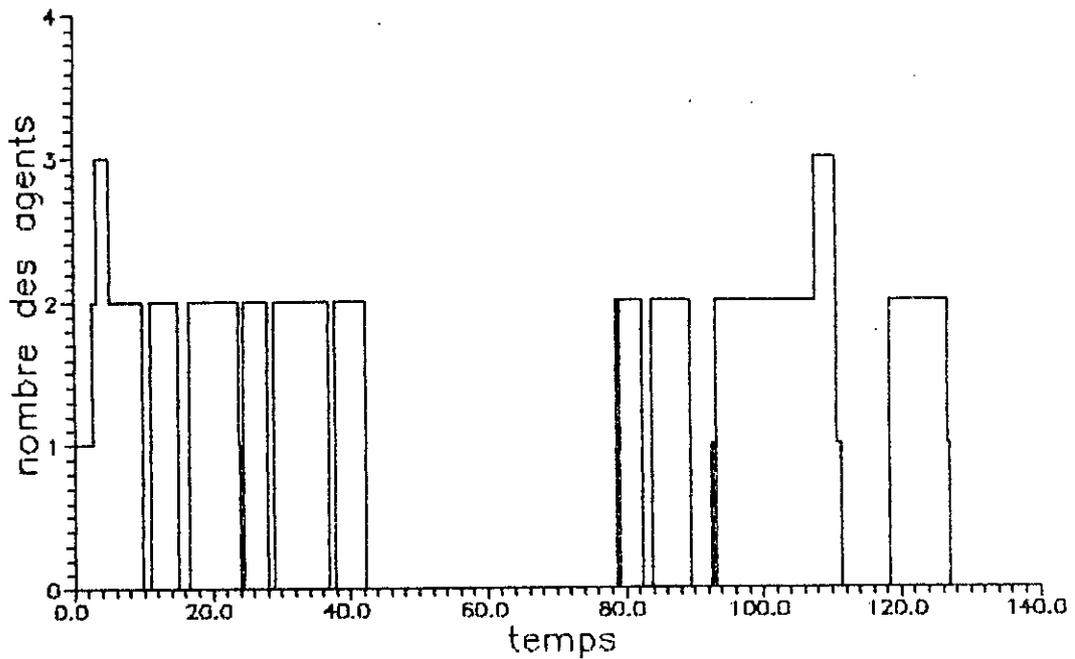
L'exploitation de l'heuristique, nous permet de faire des modifications sur les données, et de voir leurs effets sur la durée totale du projet. par exemple:

- En augmentant l'effectif des motoristes (ressource 1) par un agent, la durée du projet diminue jusqu'à 198.8 heures ouvrables;
- à l'inverse, si on diminue l'effectif d'un agent, la durée augmente jusqu'à 229.1 heures ouvrables;
- De plus, si on augmente l'effectif des ressources 1,2,22 d'un agent respectivement, la durée du projet diminue jusqu'à 191.3 heures ouvrables (22.5 jours ouvrables).

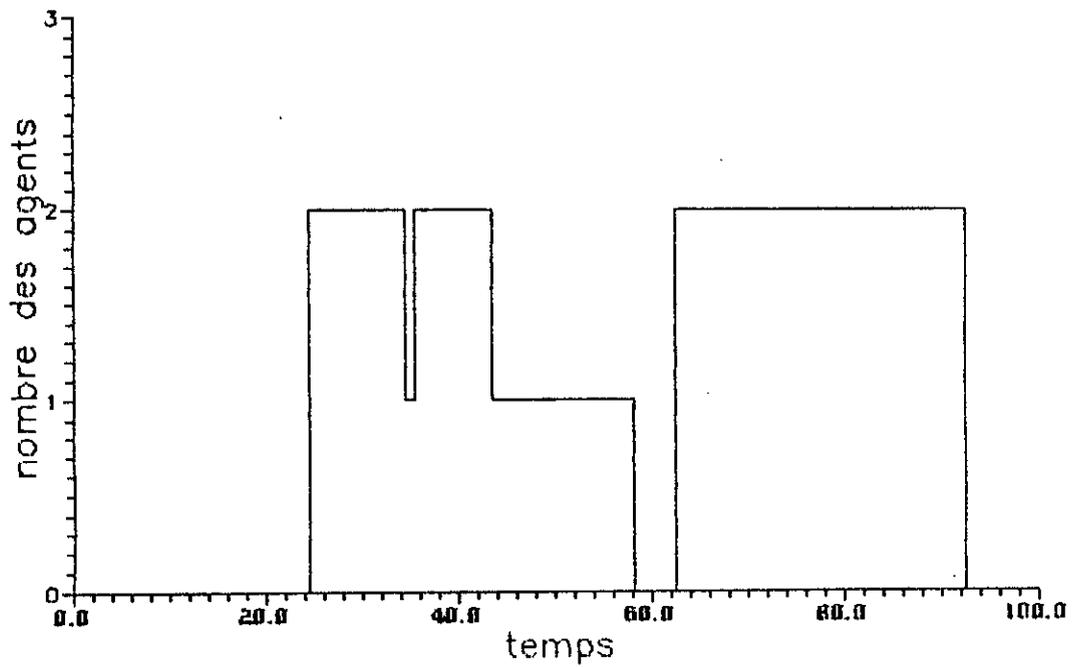
Ce dernier cas, montre que le délai fixé par le constructeur (22 jours ouvrables), est un délai raisonnable mais avec un effort de la part des responsables, l'unité peut réaliser la révision général d'une locomotive dans ce délai.



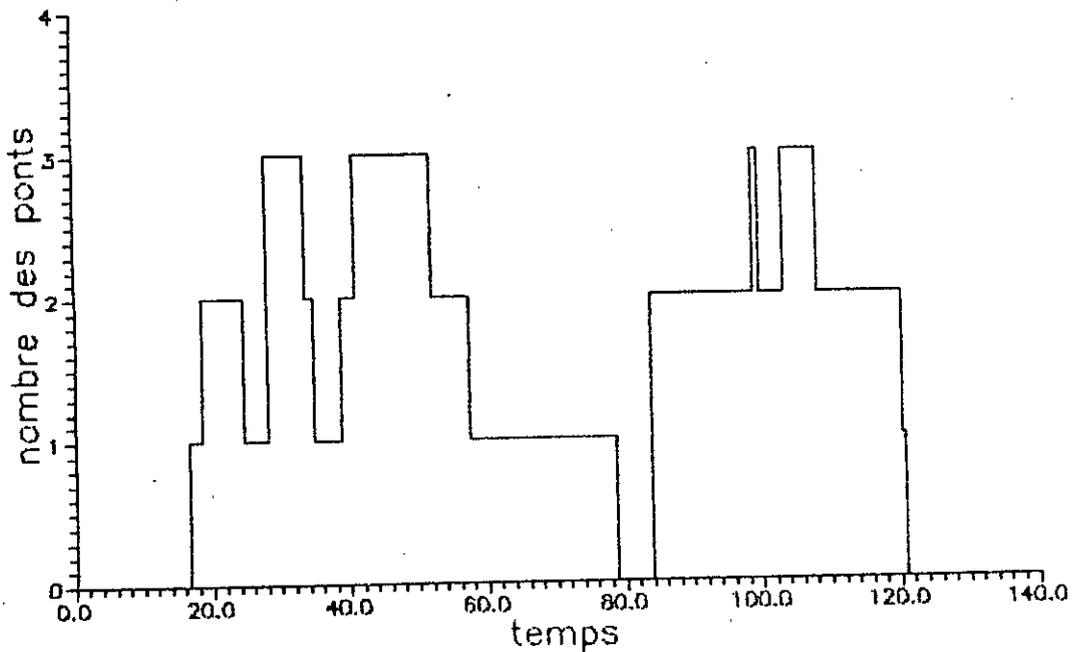
Courbe n°1 : utilisation de la ressource n°1 (Motoristes)
capacité = 7 agents



Courbe n°2 : utilisation de la ressource n°2 (Electriciens)
capacité = 3 agents



Courbe n°3 : utilisation de la ressource n°22 (Radiateur)
capacité = 3 agents



Courbe n°4 : utilisation de la ressource n°31 (Pont)
capacité = 3 ponts

3 CONVERSION DU RESEAU PERT EN UN DIAGRAMME DE GANTT:

Le réseau PERT, initialement décrit, nous donne, certes, beaucoup d'informations sur le déroulement des travaux d'entretien, mais son utilisation lors de l'exécution de ces travaux reste limitée. Sa conversion en un diagramme de GANTT s'avère donc nécessaire.

Le diagramme de GANTT montre les relations existant entre les opérations. Il nous fournit une meilleure idée de l'enchaînement dans le temps et donne une visualisation simple du planning prévisionnel et de la réalisation, c'est à dire du "suivi". Il est commode pour l'exploitation de décisions. C'est une représentation donc, au moyen de laquelle, les responsables du suivi des travaux d'entretien peuvent exprimer leurs idées et raisonner le placement des travaux qu'il faut. Le progiciel PROJECT nous a facilité la conversion de réseau PERT en un diagramme de GANTT, qui est présentée dans la figure n°1 en partie résultat.

4-ETABLISSEMENT D'UN CALENDRIER DE TRAVAIL:

On peut compléter la présentation des résultats, pour faciliter la réalisation du programme, par l'établissement de calendriers de préparation du travail, de calendriers d'enclenchement des opérations, de tableaux dans lesquels les opérations sont classées selon leurs marges totales ou leurs marges libres, ...etc.

Le calendrier d'enclenchement des opérations semble être un moyen très efficace pour faciliter le respect des délais de réalisation. Il peut servir de tableau de bord pour chaque équipe

de travail. On classe les sommets selon leurs dates de debut au plus tôt croissantes(ou selon leurs dates de fin au plus tôt).Les sommets correspondant aux tâches critiques sont représentés par un simple point.Les autres sommets, qui correspondent aux tâches ayant un intervalle de flottement non nul figurent sur un trait horizontal représentant cet intervalle.

5 CALCUL DES PROBABILITES D'ACHEVEMENT DU PROJET :

Connaître les probabilités d'achèvement du projet, dans des délais escomptés, est une chose très importante pour les responsables, vu que ça leur donnera une certaine idée sur le volume des moyens matériels et humains qu'ils doivent fournir et des dispositions à prendre(heures supplémentaires, accélération des travaux,...) s'ils veulent vraiment atteindre ce délai, et cela en fonction de la valeur de cette probabilité.

La durée moyenne prévisionnelle pour une opération "R.G" est de 181.05 heures (21.3 jours ouvrables) avec un écart type de 7.24153 heures(0.85 jours ouvrables).

Les probabilités de réalisation du programme des travaux d'entretien ont été établies en faisant varier le délai DT autour de la date prévisionnelle T(voir le tableau n°4).

Exemple: Si l'on veut achever les travaux d'entretien dans un délai de 24 jours ouvrables, on aura 99.92 % de chance de réaliser ce projet. Le calcul de cette probabilité se fait comme suit: on utilise la formule (21)

$$\begin{aligned} P \left[t < 204 \right] &= P \left[\frac{t-181.05}{7.24153} < \frac{204 -181.05}{7.24153} \right] \\ &= P \left[z < 3.17 \right] = 0.9992 \end{aligned}$$

Cette valeur de la probabilité est tirée de la table de la loi normale centrée réduite.

durée en heures	durée en jours	$\frac{t-DT}{\sigma_r}$	Probabilité	Pourcentage (%)
150.00	17.64	-4.29	0.0000	00.00
160.00	18.82	-2.91	0.0018	00.18
170.00	20.00	-1.53	0.0630	06.30
175.00	20.59	-0.84	0.2005	20.05
177.00	20.82	-0.56	0.2877	28.77
179.00	21.06	-0.28	0.3897	38.97
180.00	21.18	-0.15	0.4404	44.04
181.05	21.30	0.00	0.5000	50.00
182.00	21.41	0.13	0.5517	55.17
184.00	21.65	0.41	0.6591	65.91
186.00	21.88	0.68	0.7517	75.17
188.00	22.12	0.96	0.8315	83.15
190.00	22.35	1.24	0.8925	89.25
192.00	22.59	1.51	0.9345	93.45
194.00	22.82	1.79	0.9633	96.33
196.00	23.06	2.06	0.9803	98.03
198.00	23.29	2.34	0.9904	99.04
200.00	23.53	2.62	0.9956	99.56
201.00	23.65	2.76	0.9971	99.71
202.00	23.77	2.89	0.9981	99.81
204.00	24.00	3.17	0.9992	99.92
206.00	24.24	3.45	0.9997	99.97
208.00	24.47	3.72	1.0000	100.0

TABLEAU N°5: CALCUL DES PROBABILITEZ

CONCLUSION

CONCLUSION

Nous avons voulu, par le biais du présent travail, contribuer à la réalisation du vœu de l'U.E.M.M.AH qui est de minimiser les durées d'immobilisation des locomotives pour leur entretien.

Ce but ne sera atteint que par une organisation de l'unité qui assure cet entretien. Cette organisation s'est portée sur les travaux effectués pour une révision générale.

Un ordonnancement des différents travaux s'est donc imposé. Nous avons utilisé pour cela la méthode P.E.R.T. Nous avons établi une liste des tâches qui forment le projet RG et une autre liste des antécédants pour visualiser les liaisons existant entre ces tâches, puis nous avons estimé la durée d'exécution de chaque tâche et on a déterminé leurs besoins en ressources humaines et matérielles.

Les premiers résultats auxquels on a abouti ont été améliorés en effectuant un lissage des ressources critiques, vu que la méthode P.E.R.T ne résoud pas le problème de dépassement des capacités par les besoins en ressources.

Ainsi, on a établi:

- Un planning des différentes tâches qui permettra de situer ces dernières dans le temps et donc un bon contrôle du déroulement des travaux;
- Le réseau schématisant les différentes relations existantes entre les tâches;

- Les caractéristiques temporelles des opérations (dates d'enclenchements, marges disponibles, ...).

En ce qui concerne le délai de réalisation du projet, nous sommes arrivés aux résultats suivants:

- La durée totale nécessaire pour la réalisation d'une révision générale est estimée à 23.74 jours ouvrables (201.8 heures). Donc on a une réduction du délai total de 4.64 jours;
- Au pire des cas, le délai ne dépassera pas 24.5 jours, ce qui représente un résultat intéressant;
- La durée d'une révision générale, fixée par le constructeur à 22 jours ouvrables, peut être atteinte en procédant à une réduction des durées d'exécution de quelques tâches critiques et ceci par un suivi et un contrôle régulier de ces opérations;
- Les retards enregistrés lors de l'entretien sont occasionnés par l'atelier de montage, vu que presque toutes les tâches critiques et presque critiques appartiennent à cet atelier.

Nous proposons aux responsables de l'U.E.M.M.AH quelques recommandations afin d'améliorer la situation :

- Porter un grand intérêt aux travaux effectués dans l'atelier de montage;
- Augmenter l'effectif de cette section par un recrutement de nouveaux agents ou en affectant quelques agents des autres sections à cet atelier;
- Avoir recours à des heures de travail supplémentaires;
- Réviser les temps alloués aux agents exécutants car ils sont considérés très excessives. Nous suggérons de diminuer ces

temps et en parallèle, augmenter les primes de rendement accordées aux agents en fonction du nombre d'heures de travail. Ce que dépensera^{l'unité} par l'augmentation de ces primes sera récupéré par le gain du temps résultant de la réduction du délai d'immobilisation de la locomotive.

En fin, nous espérons que ce modeste travail aura une part d'intérêt chez les responsables de l'U.E.M.M.AH et que ces derniers utiliseront les techniques d'ordonnancement qui y sont présentées pour le suivi et le contrôle des opérations d'entretien.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.ALJ , R.FAURE
Guide de recherche opérationnelle
Masson 1990
- [2] FRANCOIS ECOTO
Initiations à la recherche opérationnelle
Ellipses 1986
- [3] FEDERAL ELECTRIC CORPORATION
La méthode PERT
- [4] J.BERNARD
Les plannings
Organisation 1985
- [5] A.BATTERSBAY
Méthodes modernes d'ordonnancement
Dunod 1967
- [6] MICROSOFT PROJECT
Gestionnaire des projet v3.0
Microsoft corporation 1986
- [7] ANDRE BOULLET
Le PERT à la portée de tous
Dunod 1973
- [8] ARNOLD KAUFMANN ET GERARD DESBAZEILLE
La méthode du chemin critique
Dunod 1974
- [9] B.ROY
Les problèmes d'ordonnancement
application et méthodes
Dunod 1964
- [10] COCHEREL MICHEL
Réussir les plannings PERT
Entreprise moderne d'edition 1979
- [11] JEAN LISSARRAGUE

- Qu'est-ce que le PERT?
Dunod 1974
- [12] PIERRE POGGIOLI
Pratique de la méthode PERT
les éditions d'organisation 1976
- [13] VINCENT GIRARD
Gestion de la production
Economica 1988
- [14] P.LAMBERT
La fonction d'ordonnancement
Organisation 1982
- [15] J.CARBIER et P.CHR2TIENNE
Problèmes d'ordonnancement
modélisation, complexité, algorithmes
Masson 1988
- [16] WOODGATE H.S
Comment utiliser les plannings par réseau PERT, PERT-COST
ramps CHEMIN critique
Chautier-villars 1967
- [17] ROBERT FAURE
Chemins et flots, ordonnancement
Dunod 1976
- [18] E.MAUREL, D.ROUX et D.DUPONT
Techniques opérationnelles d'ordonnancement
fondées sur la méthode PERT potentiel-tâche
Eyrolles 1977

THESE:

M.SIFI

Ordonnancement des travaux de maintenance d'un
aéronf en grande visite d'entretien
1991

N.BARAGH, S.ABDELHAMID

Elaboration d'un modèle d'ordonnancement des travaux
d'un poste 60/30 Kv
1992

RESULTATS

TABLEAU N°1:LISTE DES TACHES

N°	Désignation de la tâche
1	reception de la loco aux ateliers
2	désaccouplage de la loco
3	dépose de la generatrice
4	mise sur faux bogie
5	dépose du reservoir gas-oil
6	repose du reservoir gas-oil
7	dépose du capot MD
8	dépose du capot (partie electrique)
9	dépose des regards de visites
10	dépose du culbuteur
11	dépose des injecteurs pompes
12	dépose des robinets de décompression
13	dépose des pipes d'eau
14	dépose des ensembles de puissance
15	dépose de l'ensemble des pompes
16	dépose du turbo
17	dépose de la grille du turbo
18	dépose des pompes gicleurs d'huile
19	dépose de l'ensemble des filtres
20	dépose de l'echapement complet
21	dépose de l'ensemble des freins
22	dépose de l'ensemble-cabine
23	dépose du radiateur d'eau
24	dépose du moteur ventilateur
25	dépose du compresseur d'air
26	dépose du frein à main
27	dépose de l'ensemble des essuie-glace
28	dépose de la génératrice auxilliaire
29	dépose de la batterie
30	dépose du demarreur
31	dép moteur ventilateur frein rhéostatique
32	dépose du filtre à inertie
33	dépose du moteur d'inertie
34	dépose du radiateur chauffage-cabine
35	dépose des cheminets de soufflage
36	dépose des relais pneumatiques
37	dépose de l'indicateur de vitesse
38	dépose des electr-valves de sablière
39	dépose des prises de chauffage
40	dépose du regulateur LR
41	dépose du couteau-batterie
42	dépose des modules électroniques
43	dépose des blocs de diodes (AR10)
44	lavage de la locomotive
45	dépose du contacteur de ligne
46	dépose des organes de choc
47	nettoyage et graissage du moteur diesel
48	nettoyage du vilbrequin
49	controle de l'état des coussinets-bielle
50	controle de l'etat de AR10
51	controle de l'état du cablage-isolement
52	réparation de la batterie
53	réparation du chemin de soufflage
54	réparation de la generatrice
55	réparation du demarreur

TABLEAU N°1:LISTE DES TACHES(suite)

56	réparation des électro-valves de sablièr
57	réparation des relais de frein
58	réparation du FVS
59	répartition des relais thermostatiques
60	réparation des blocs de diode
61	réparation du régulateur
62	réparation du relais TLTD
63	réparation du radiateur chauffage-cabine
64	réparation du contacteur de ligne
65	réparation du couteau-batterie
66	réparation des prises de chauffage
67	réparation des modules électroniques
68	réparation de l'indicateur de vitesse
69	reparation des injecteurs pompes
70	réparation du régulateur woodward
71	menuiserie pour cabine
72	réparation des accoudoires de cabine
73	réparation du siège de conduite
74	réparation des sièges de repos
75	réparation du dossier du siège-conduite
76	confection des joints
77	réparation du turbo
78	réparation du pont cmplet soupape-échapt
79	démontage du compresseur d'air
80	réparation du compresseur d'air
81	réparation du boitier de crépine
82	réparation de la pompe à huile du turbo
83	réparation de la pompe de lubrification
84	réparation de la pompe-huile de refoulmt
85	réparation de la pompe à eau (gauche)
86	réparation de la pompe à eau (droite)
87	réparation de la pompe de transfert
88	réparation du culbiteur avec pont
89	réparation des robinets de décompression
90	réctifier les pointeurs des robinets de décompression
91	rép des filtres d'aspiration du gas-oil
92	réparation des filtres à gas-oil
93	réparation des filtres à huile du turbo
94	rép du détecteur de baisse de pression
95	réparation des essuie-glaces (40°)
96	réparation des essuie-glaces (50°)
97	réparation des essuies-glaces (75°)
98	réparation des valves de commande 26D
99	réparation des robinets des essuie-glace
100	réparer valve de commande 26D(p-desserag
101	réparer valve de decharge rapide
102	réparer valve relais J1
103	réparer soupape d'huile moteur
104	réparer soupape de compresseur
105	réparer robinet de frein automatique
106	réparer robinet de reservoir-plein-air
107	réparer robinet de frein independant
108	controle des pompes gicleur d'huile
109	réparer filtre de compresseur
110	réparer avertisseur sonor à air
111	réparer frein à main
112	réparer systeme d'amortissement
113	recharger systeme d'amortissement

TABLEAU N°1:LISTE DES TACHES(suite)

114	dem-repar-remo du niveau de gas-oil
115	rép robinet de verification(eau)
116	réparer filtre à air centrifuge
117	réparer soupape de reservoir-principale
118	réparer les regards de visits
119	travaux sur loco (ajutage)
120	réparer les tampon de choc
121	réparer valve de secruite
122	réparer radiateur d'eau
123	réparer de réfrigérant du turbo
124	réparer le réfrigérant d'huile
125	réparer le réfrigérant de compresseur
126	réparer les pipes d'eau
127	dépose des culasses
128	réparer les ensembles de puissances
129	réparer les culasses
130	répose les culasses
131	réparer le capot moteur
132	réparer le moteur ventilateur
133	réparer le moteur d'inertie
134	réparer moteur à frein rheostatique
135	réparer moteur pompe de transfert
136	réparer la generatrice auxilliaire
137	demo-repar-remon des serrures de portes
138	dépose de bolstere
139	dépose les ressorts de bolster(+o-susp)
140	dépose du tampon graisseur
141	dépose les supports de soufflet
142	retirer les goupilles
143	desserer les vis de chapeau de palie
144	dépose les carteres d'engrenages
145	desserer les sommier de traction
146	enlever les carteres d'engrenage
147	enlevement des chapeaux de palier
148	dépose des sommiers et des MT
149	lavage de bogie
150	dépose des organes de timonerie
151	enlevement des roues
152	réparation des roues
153	preparation des bogies
154	demontage de moteur traction
155	réparation de moteur traction
156	lavage de carcasse de moteur traction
157	réparer l'induit de moteur traction
158	lavage de l'induit de M-T
159	chaudronrie sur bogie
160	réparer le bogie
161	réparer glissier de croch de traction
162	recharger glissier de croch de traction
163	usinage de support de glissier de c-t
164	réparer du tampon graiseur
165	réparer les croches de traction
166	recharger le croche de traction
167	réparer croché de traction
168	usinage de croch de traction
169	réparer tindeur d'attlage
170	réparer le regleur timonerie
171	réparer les ressorts de bolstere

TABLEAU N°1:LISTE DES TACHES(suite)

172	réparer les ressorts de suspension
173	redressement de tendeur d'attelage
174	réparer stabilisateur de timonerie
175	redresser le tirant réglable
176	réparer le tampon de choc
177	confection les écrous et accord(tuy-sab)
178	réparer tuyaux de sablière
179	travaux de reparat-confect de tuyautrie
180	travaux de soudure(montage)
181	fixation des verrous
182	réparer les travers de tete av et ar
183	réparer des sommiers de suspension de MT
184	recharge parties usées sur bolstere
185	remplacer les plaques usées(boites-essiu
186	réparer le bolstere
187	remplacer plaques usées sur MT
188	réparer supports de tampon de choc
189	charger le flasques
190	souder les tampon de choc
191	modification de tampon du choc
192	recharger les chapeaux de palier de MT
193	recharger le tirant réglable
194	confection des vis moletes pour phares
195	rabotage et mise à la cote(flasques)
196	rabotage et mise à la cote (chapeau MT)
197	fraisage de tirant réglable
198	rectification du vilbrequin(compresseur)
199	remontage de compresseur d'air
200	frisage de clapets de compresseur
201	réparer les carter d'engrenage de MT
202	ebarbage du chapeau de palier MT
203	grattage-pottassage-soufflage bolster
204	grattage-pottassage-soufflage bogie
205	peinteur de capot MD(interieurment)
206	peinteur des regardes de visites
207	peinteur de la cage de radiateur
208	remontage des moteurs de traction
209	remettree les leviers externes
210	verification des bacs de sables
211	préparation d'un jeu de regleur
212	recouplage des MT sur les axes d"essieu
213	repose des organes du bogie
214	placement des bogies sur les roues
215	repose des ressorts de bolster(org-susp)
216	repose de bolstere
217	reparer le cylindre de frein
218	repose batterie
219	repose demarreur
220	repose les modules electroniques
221	repose les bode diodes de redresseur
222	repose les relais pnumatiques
223	repose indicateur de vitesse
224	repose contacteur de ligne
225	repose cheminér de soufflage
226	repose de la generatrice auxiliaire
227	repose moteur de ventilateurde frein rho
228	rassamblage des organes de choc
229	repose des organde choc

TABLEAU N°1:LISTE DES TACHES(suite)

230	repose moteur ventilateur
231	repose le radiateur d'eau
232	repose les pompes gicleur d'huile
233	repose de compresseur d'air
234	repose grille turbo
235	repose de turbo
236	repose echappement complet
237	repose ensemble de frein
238	repose ensemble des filtres
239	repose les ensembles de puissance
240	repose les pipes d'eau
241	repose les robinet de décompression
242	repose du culbuteur
243	repose de l'ensemble de cabine
244	repose l'ensemble des essuie glace
245	repose des injecteurs pompes
246	repose de l'ensemble des pompes
247	repose des regard de visite
248	repose de capot moteur disel
249	repose du couteau batterie
250	repose prise chauffage
251	repose les electro-valves de sablir
252	repose radiateur chauffage cabine
253	peinteur de cabine de conducteur
254	repose regulateur LR
255	repose moteur d'inertie
256	repose filtre à inertie
257	repose de capot (p-electrique)
258	mise sur vraie bogie
259	repose frein à main
260	repose generatrice
261	controle le plques de frein
262	lavage final de la loco
263	essai et train d'esai
264	peinture et décoration de la loco

TABLEAU N°2:LISTE DES ANTECEDANTS

N°tâche	Antécédants
001	-
002	1
003	2
004	3
005	4
006	5
007	6
008	6
009	7
010	9
011	10
012	10
013	12
014	13
015	7
016	7
017	16
018	14
019	7
020	7
021	1
022	1
023	7
024	23
025	6
026	1
027	6
028	8
029	1
030	1
031	1
032	1
033	32
034	1
035	28
036	1
037	1
038	1
039	38
040	1
041	22,30,34,35,39,40
042	1
043	8
044	15,17,18,19,20,21,24,25,26,27,36,37,41,42,43
045	44
046	44
047	44
048	47
049	48
050	44

TABLEAU N°2:LISTE DES ANTECEDANTS (suite)

N°tâche	Antécédants
051	44,50
052	29
053	35
054	3
055	30
056	38
057	36
058	36
059	36
060	43
061	40
062	36
063	34
064	45
065	41
066	39
067	42
068	37
069	11
070	15
071	22
072	22
073	22,71
074	22,71
075	22,71
076	14
077	16
078	20
079	25
080	79
081	15
082	15
083	15
084	15
085	15
086	15
087	15
088	10
089	12
090	89
091	19
092	19
093	19
094	15
095	27
096	27
097	27
098	21
099	27
100	21

TABLEAU N°2:LISTE DES ANTECEDANTS (suite)

N°tâche	Antécédants
101	21
102	21
103	15
104	25
105	21
106	21
107	21
108	18
109	25
110	27
111	26
112	46
113	112
114	5
115	27
116	19
117	21
118	9
119	44
120	46
121	21
122	23
123	16
124	16
125	25
126	13
127	14
128	127
129	127
130	128,129
131	7
132	24
133	33
134	31
135	87
136	28
137	44
138	4
139	138
140	139
141	140
142	141
143	142
144	143
145	144
146	145
147	146
148	147
149	148
150	149

TABLEAU N°2:LISTE DES ANTECEDANTS (suite)

N°tâche	Antécédants
151	150
152	151
153	151
154	148
155	154
156	155
157	154
158	157
159	153
160	159
161	46
162	161
163	162
164	140
165	46
166	165
167	166
168	167
169	46
170	150
171	139
172	139
173	169
174	150
175	147
176	120
177	2
178	149,177
179	149
180	44
181	44
182	4
183	139
184	138
185	151
186	184
187	155
188	180
189	155
190	176
191	190
192	143
193	175
194	27
195	189
196	192
197	193
198	79
199	80,198
200	25
201	144

TABLEAU N°2 :LISTE DES ANTECEDANTS (suite)

N°tâche	Antécédants
202	196
203	186
204	160
205	131
206	118
207	44
208	156,158,187,195,202
209	204
210	209
211	208
212	152,164,170,183,201,202,208,211
213	170,174,178,185,197,210
214	212,213
215	171,172,214
216	215,203
217	216
218	52
219	44,55,76
220	67
221	51,60
222	51,57,58,59,62
223	44,68
224	64
225	44,53
226	119,136,225
227	51,134
228	113,163,168,173,188,191
229	182,228
230	132,207
231	122,230
232	44,108
233	44,104,109,125,199,200
234	64
235	77,123,124,234
236	47,78
237	98,100,101,102,105,106,107,109,117,121
238	44,91,92,93,116
239	49,130,232
240	126,239
241	89,90,240
242	88,241
243	44,72,73,74,75
244	95,96,97,99,115
245	69,240
246	81,82,83,84,85,86,87,70,94,103,135
247	206,242,245
248	131,205,219,236,238,246,247
249	65,122
250	66
251	51,56,250
252	51,63

TABLEAU N°2:LISTE DES ANTECEDANTS (suite)

N°tâche	Antécédants
253	110,137,181,223,243,244,252
254	51,63
255	51,133
256	255
257	221,222,224,226,227,251,254,256
258	217,229,231,233,235,248,253,257,237,249,194,251 179
259	111,258
260	54,258
261	114,218,220,259,260
262	261
263	262
264	263

TABLEAU N°3: ESTIMATION DES DUREES D'EXECUTION

N°tâche	T-optim	T-pprob	T-péssi	T-prévu	Ecart-typ
001	00.00	00.00	00.00	00.00	0.00000
002	03.00	04.00	09.00	04.67	1.00000
003	00.25	00.33	00.42	00.33	0.02833
004	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
005	03.00	04.00	05.00	04.00	0.33333
006	03.00	04.00	05.00	04.00	0.33333
007	01.50	02.00	02.50	02.00	0.16667
008	00.33	00.42	00.50	00.42	0.02833
009	00.25	00.50	00.75	00.50	0.08333
010	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333
011	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333
012	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333
013	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333
014	04.00	06.00	08.00	06.00	0.66667
015	08.00	12.00	16.00	12.00	1.33333
016	04.00	06.00	08.00	06.00	0.66667
017	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
018	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333
019	04.00	06.00	08.00	06.00	0.66667
020	08.00	12.00	16.00	12.00	1.33333
021	02.50	03.00	04.00	03.10	0.25000
022	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
023	03.00	04.00	08.00	04.50	0.83333
024	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
025	01.00	02.00	03.00	02.00	0.33333
026	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
027	03.00	04.00	08.00	04.50	0.83333
028	05.00	07.00	08.00	06.83	0.50000
029	01.00	02.00	03.00	02.00	0.33333
030	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
031	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333
032	03.00	03.50	04.00	03.50	0.16667
033	01.50	02.00	02.00	01.92	0.08333
034	01.00	01.25	01.50	01.25	0.08333
035	00.17	00.20	00.25	00.20	0.01333
036	00.50	00.75	01.00	00.75	0.08333
037	00.17	00.25	00.25	00.24	0.01333
038	00.50	00.75	01.00	00.75	0.08333
039	04.00	04.50	05.00	04.50	0.16667
040	00.17	00.20	00.25	00.20	0.01333
041	00.08	00.17	00.25	00.17	0.02833
042	00.25	00.33	00.50	00.35	0.04167
043	04.00	06.00	08.00	06.00	0.66667
044	16.00	20.00	24.00	20.00	1.33333
045	00.50	01.00	02.00	01.08	0.25000
046	04.00	06.00	08.00	06.00	0.66667
047	03.00	04.00	08.00	04.50	0.83333
048	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333

TABLEAU N°3: ESTIMATION DES DUREES D'EXECUTION (suite)

N°tâche	T-optim	T-pprob	T-péssi	T-prévu	Ecart-type
049	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
050	08.00	16.00	40.00	18.67	5.33333
051	08.00	12.00	31.00	14.50	3.83333
052	19.00	20.00	21.00	20.00	0.33333
053	00.50	01.00	01.00	00.92	0.08333
054	04.00	08.00	12.00	08.00	1.33333
055	09.00	15.00	20.00	14.83	1.83333
056	04.00	05.00	05.00	04.83	0.16667
057	02.00	02.50	04.00	02.67	0.33333
058	02.00	02.00	02.00	02.00	0.00000
059	01.50	01.50	02.00	01.58	0.08333
060	12.50	15.00	16.00	14.75	0.58333
061	06.00	08.00	09.00	07.83	0.50000
062	04.00	05.00	06.00	05.00	0.33333
063	10.00	12.00	12.00	11.67	0.33333
064	05.00	06.00	08.00	06.17	0.50000
065	02.50	04.00	04.00	03.75	0.25000
066	02.50	04.00	05.00	03.92	0.41667
067	60.00	64.00	68.00	64.00	1.33333
068	16.00	18.00	20.00	18.00	0.66667
069	32.00	60.00	88.00	60.00	9.33333
070	35.00	40.00	45.00	40.00	1.66667
071	10.50	16.00	24.00	16.42	2.25000
072	01.50	02.00	05.00	02.42	0.58333
073	01.50	02.50	05.00	02.75	0.58333
074	05.00	10.00	10.00	09.17	0.83333
075	02.00	03.00	03.00	02.83	0.16667
076	12.00	14.00	15.00	13.83	0.50000
077	24.00	28.00	32.00	28.00	1.33333
078	16.00	32.00	64.00	34.70	8.00000
079	04.00	07.00	10.00	07.00	1.00000
080	16.00	20.00	24.00	20.00	1.33333
081	04.00	05.00	07.00	05.17	0.50000
082	06.00	08.00	10.00	08.00	0.66667
083	06.00	08.00	10.00	08.00	0.66667
084	06.00	08.00	10.00	08.00	0.66667
085	08.00	10.00	14.00	10.33	1.00000
086	08.00	10.00	14.00	10.33	1.00000
087	08.00	10.00	12.00	10.00	0.66667
088	01.00	02.00	05.00	02.33	0.66667
089	04.00	08.00	16.00	08.67	2.00000
090	04.00	03.58	06.72	04.17	0.45333
091	00.25	00.75	02.00	00.88	0.29167
092	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
093	01.00	02.00	03.00	02.00	0.33333
094	04.00	08.00	16.00	08.67	2.00000
095	02.00	02.00	03.00	02.20	0.16667
096	02.00	02.00	03.00	02.20	0.16667
097	02.00	02.00	03.00	02.20	0.16667
098	02.00	04.00	06.00	04.00	0.66667

TABLEAU N°3: ESTIMATION DES DUREES D'EXECUTION (suite)

N°tâche	T-optim	T-pprob	T-péssi	T-prévu	Ecart-type
099	08.00	12.00	16.00	12.00	1.33333
100	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
101	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
102	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
103	01.00	01.50	03.00	01.67	0.33333
104	01.00	01.50	03.00	01.67	0.33333
105	08.00	08.00	16.00	09.33	1.33333
106	00.10	01.00	02.00	01.08	0.25000
107	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
108	04.00	06.00	08.00	06.00	0.66667
109	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
110	02.00	04.00	06.00	04.00	0.66667
111	01.00	04.00	08.00	04.17	1.66667
112	00.08	00.33	00.67	00.35	0.09833
113	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333
114	04.00	04.00	09.00	04.83	0.83333
115	00.17	00.25	00.25	00.24	0.01333
116	01.50	02.00	06.00	02.58	0.75000
117	01.50	03.00	04.00	02.92	0.41667
118	08.00	13.33	16.00	12.89	1.33333
119	01.00	08.00	16.00	08.17	2.50000
120	02.00	04.00	08.00	04.33	1.00000
121	03.00	04.00	05.00	04.00	0.33333
122	04.00	40.00	64.00	38.00	10.0000
123	08.00	10.00	12.00	10.00	0.66667
124	25.00	34.00	42.00	33.83	2.83333
125	06.00	08.00	10.00	08.00	0.66667
126	04.00	06.00	08.00	06.00	0.66667
127	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333
128	25.00	35.00	75.00	40.00	8.33333
129	04.00	08.00	10.00	07.67	1.00000
130	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333
131	08.00	16.00	24.00	16.00	2.66667
132	12.00	24.00	24.00	22.00	2.00000
133	04.00	08.00	08.00	07.33	0.66667
134	04.00	08.00	08.00	07.33	0.66667
135	08.00	10.00	12.00	10.00	0.66667
136	08.00	10.00	12.00	10.00	0.66667
137	00.25	01.00	01.50	00.96	0.20833
138	00.17	00.42	00.75	00.43	0.09667
139	00.33	00.42	00.50	00.42	0.02833
140	00.67	00.75	01.00	00.78	0.05500
141	00.33	00.50	00.75	00.50	0.07000
142	00.08	00.13	00.17	00.14	0.01500
143	02.00	03.00	06.00	03.33	0.66667
144	00.50	00.67	00.75	00.67	0.04167
145	00.50	00.67	00.75	00.67	0.04167
146	00.33	00.42	00.50	00.42	0.02833
147	00.42	00.50	00.67	00.50	0.04167
148	00.42	00.47	00.50	00.50	0.01333
149	04.00	08.00	12.00	08.00	1.33333

TABLEAU N°3: ESTIMATION DES DUREES D'EXECUTION (suite)

N°tâche	T-optim	T-pprob	T-péssi	T-prévu	Ecart-type
150	04.00	06.00	08.00	06.00	0.66667
151	00.17	00.25	00.42	00.30	0.04167
152	30.00	40.00	50.00	40.00	3.33333
153	04.00	06.00	08.00	06.00	0.66667
154	06.00	07.00	14.00	08.00	1.33333
155	06.00	13.00	14.00	12.00	1.33333
156	05.00	06.00	07.00	06.00	0.33333
157	01.00	17.00	27.00	16.00	4.33333
158	05.00	06.00	07.00	06.00	0.33333
159	01.33	01.50	01.50	01.47	0.02833
160	08.00	08.00	40.00	13.33	5.33333
161	01.00	01.25	01.50	01.25	0.08333
162	02.00	06.00	08.00	05.67	0.33333
163	01.67	02.00	02.33	02.00	0.11000
164	02.00	02.00	03.00	02.17	0.16667
165	00.25	00.42	00.50	00.41	0.04167
166	02.00	04.00	06.00	04.00	0.66667
167	00.08	00.13	00.15	00.13	0.01167
168	01.67	02.00	02.33	02.00	0.11000
169	00.25	00.33	00.42	00.33	0.02833
170	06.00	09.00	12.00	09.00	1.00000
171	01.33	02.67	04.00	02.67	0.44500
172	02.67	05.33	08.00	05.33	0.88833
173	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
174	00.01	00.03	00.05	00.03	0.00667
175	00.17	00.20	00.25	00.20	0.01333
176	00.50	01.00	04.00	01.42	0.58333
177	16.00	24.00	40.00	25.33	4.00000
178	01.50	01.50	02.00	01.58	0.08333
179	01.00	18.00	18.00	15.17	2.83333
180	12.00	12.00	16.00	12.67	0.66667
181	00.17	00.25	01.00	00.36	0.13833
182	02.00	04.00	08.00	04.33	1.00000
183	04.00	06.00	08.00	06.00	0.66667
184	24.00	40.00	48.00	38.67	4.00000
185	08.00	12.00	16.00	12.00	1.33333
186	04.00	16.00	32.00	16.67	4.66667
187	06.00	09.00	12.00	09.00	1.00000
188	02.00	02.50	03.00	02.50	0.16667
189	06.00	07.00	08.00	07.00	0.33333
190	01.00	01.33	12.00	03.10	1.83333
191	06.00	07.00	08.00	07.00	0.33333
192	10.00	12.00	14.00	12.00	0.66667
193	01.00	02.00	04.00	02.17	0.50000
194	02.64	04.00	04.00	04.77	0.22667
195	01.00	01.00	01.50	01.08	0.08333
196	10.00	12.00	14.00	12.00	0.66667
197	00.25	00.33	00.50	00.35	0.04167
198	01.50	02.00	02.50	02.00	0.16667

TABLEAU N°3: ESTIMATION DES DUREES D'EXECUTION (suite)

N°tâche	T-optim	T-pprob	T-péssi	T-prévu	Ecart-type
199	04.00	07.00	10.00	07.00	1.00000
200	01.50	02.00	02.00	01.92	0.08333
201	04.00	16.00	24.00	15.33	3.33333
202	06.00	08.00	10.00	08.00	0.66667
203	00.50	00.67	01.00	00.69	0.08333
204	00.50	00.67	01.00	00.69	0.08333
205	01.00	02.00	03.00	02.00	0.33333
206	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
207	02.50	03.00	04.00	03.08	0.25000
208	03.00	04.00	05.00	04.00	0.33333
209	00.33	00.42	00.50	00.42	0.02833
210	04.00	06.00	08.00	06.00	0.66667
211	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333
212	08.00	12.00	16.00	12.00	1.33333
213	00.42	00.50	00.58	00.50	0.02667
214	03.00	04.00	05.00	04.00	0.33333
215	00.42	00.50	00.58	00.50	0.02667
216	00.75	01.00	01.25	01.00	0.08333
217	00.42	00.50	00.58	00.50	0.02667
218	02.00	04.00	06.00	04.00	0.66667
219	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
220	00.25	00.33	00.50	00.35	0.04167
221	01.80	02.00	02.80	02.10	0.16667
222	00.50	00.75	01.00	00.75	0.08333
223	00.17	00.25	00.25	00.24	0.01333
224	00.50	00.70	01.50	00.80	0.16667
225	00.17	00.20	00.25	00.20	0.01333
226	02.40	05.00	07.00	04.90	0.76667
227	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333
228	02.00	04.00	06.00	04.00	0.66667
229	04.00	06.00	08.00	06.00	0.66667
230	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
231	03.00	04.00	08.00	04.50	0.83333
232	04.00	06.00	08.00	06.00	0.66667
233	16.00	20.00	24.00	20.00	1.33333
234	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
235	16.00	20.00	24.00	20.00	1.33333
236	08.00	20.00	24.00	18.67	2.66667
237	04.00	06.00	08.00	06.00	0.66667
238	08.00	12.00	16.00	12.00	1.33333
239	06.00	08.00	12.00	08.33	1.00000
240	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333
241	00.25	00.50	00.75	00.50	0.08333
242	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333
243	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333
244	03.00	04.00	08.00	04.50	0.83333
245	02.00	03.00	04.00	03.00	0.33333
246	16.00	24.00	40.00	25.33	4.00000
247	00.42	00.50	00.58	00.50	0.02667
248	01.00	01.50	02.00	01.50	0.16667
249	00.08	00.17	00.25	00.17	0.02833

TABLEAU N°3: ESTIMATION DES DUREES D'EXECUTION (suite)

N° tâche	T-optim	T-pprob	T-péssi	T-prévu	Ecart-type
250	04.00	04.50	05.00	04.50	0.16667
251	00.50	00.75	01.00	00.75	0.08333
252	01.00	01.25	01.50	01.25	0.08333
253	02.50	03.00	04.00	03.08	0.25000
254	00.17	00.25	00.33	00.25	0.02667
255	02.00	02.50	02.50	02.42	0.08333
256	06.00	07.00	08.00	07.00	0.33333
257	00.42	00.50	00.58	00.50	0.02667
258	05.00	06.00	07.00	06.00	0.33333
259	00.75	01.00	01.25	01.00	0.08333
260	00.25	00.33	00.42	00.33	0.02833
261	04.00	06.00	08.00	06.00	0.66667
262	07.00	08.00	09.00	08.00	0.33333
263	35.00	40.00	45.00	40.00	1.66667
264	16.00	20.00	24.00	20.00	1.33333

TABLEAU N°4: CARACTERISTIQUES DES TACHES

N°	Date debut+tôt	Date fin+tôt	Date debut+trd	Date fin+tard	Slack
1	2/01/93 07:30	2/01/93 07:30	2/01/93 07:30	2/01/93 07:30	Aucun
2	2/01/93 07:30	2/01/93 12:42	2/01/93 07:30	2/01/93 12:42	Aucun
3	2/01/93 12:42	2/01/93 13:00	2/01/93 12:42	2/01/93 13:00	Aucun
4	2/01/93 13:00	2/01/93 14:30	2/01/93 13:00	2/01/93 14:30	Aucun
5	2/01/93 14:30	3/01/93 09:30	2/01/93 14:30	3/01/93 09:30	Aucun
6	3/01/93 10:30	3/01/93 15:00	3/01/93 10:30	3/01/93 15:00	Aucun
7	3/01/93 16:00	4/01/93 09:00	3/01/93 16:00	4/01/93 09:00	Aucun
8	3/01/93 16:00	3/01/93 16:24	4/01/93 10:06	4/01/93 10:30	12,9 H
9	4/01/93 09:00	4/01/93 09:30	4/01/93 09:00	4/01/93 09:30	Aucun
10	4/01/93 09:30	4/01/93 13:00	4/01/93 09:30	4/01/93 13:00	Aucun
11	6/01/93 07:30	6/01/93 10:30	4/01/93 10:30	4/01/93 14:00	93,1 H
12	4/01/93 13:00	4/01/93 16:00	4/01/93 13:00	4/01/93 16:00	Aucun
13	4/01/93 16:00	5/01/93 10:00	4/01/93 16:00	5/01/93 10:00	Aucun
14	5/01/93 10:00	5/01/93 16:30	5/01/93 10:00	5/01/93 16:30	Aucun
15	4/01/93 09:00	5/01/93 08:30	5/01/93 12:30	6/01/93 12:00	06,8 H
16	4/01/93 09:00	4/01/93 15:30	5/01/93 10:12	6/01/93 07:42	11,0 H
17	5/01/93 15:00	5/01/93 16:30	6/01/93 10:00	6/01/93 12:00	11,0 H
18	6/01/93 10:30	6/01/93 14:00	6/01/93 10:30	6/01/93 14:00	Aucun
19	4/01/93 09:00	4/01/93 15:30	5/01/93 14:30	6/01/93 12:00	12,5 H
20	4/01/93 16:00	5/01/93 14:30	5/01/93 13:30	6/01/93 12:00	11,5 H
21	2/01/93 07:30	2/01/93 10:36	5/01/93 15:42	6/01/93 09:48	33,9 H
22	2/01/93 07:30	2/01/93 09:00	6/01/93 09:48	6/01/93 11:48	35,3 H
23	5/01/93 10:00	5/01/93 15:00	4/01/93 14:30	5/01/93 10:00	12,5 H
24	6/01/93 07:30	6/01/93 09:00	5/01/93 10:30	5/01/93 12:30	12,5 H
25	3/01/93 16:00	4/01/93 09:00	5/01/93 10:00	5/01/93 13:30	18,5 H
26	2/01/93 07:30	2/01/93 09:00	6/01/93 10:00	6/01/93 12:00	35,5 H
27	5/01/93 15:00	6/01/93 10:30	4/01/93 09:30	4/01/93 14:30	16,0 H
28	3/01/93 16:24	4/01/93 14:42	4/01/93 10:30	5/01/93 08:48	12,9 H
29	2/01/93 07:30	2/01/93 09:30	17/01/93 09:00	17/01/93 11:00	81,1 H
30	3/01/93 10:00	3/01/93 12:00	5/01/93 12:48	5/01/93 14:18	35,3 H
31	3/01/93 11:30	3/01/93 15:30	5/01/93 08:48	5/01/93 12:18	86,3 H
32	4/01/93 15:30	5/01/93 10:00	5/01/93 12:18	5/01/93 15:48	77,5 H
33	6/01/93 09:06	5/01/93 11:00	17/01/93 08:54	17/01/93 10:48	77,5 H
34	2/01/93 08:48	2/01/93 10:00	5/01/93 12:54	5/01/93 14:12	35,5 H
35	4/01/93 14:42	4/01/93 14:54	5/01/93 14:18	5/01/93 14:30	12,9 H
36	5/01/93 14:30	5/01/93 15:18	5/01/93 14:12	5/01/93 15:00	36,2 H
37	2/01/93 08:30	2/01/93 08:42	6/01/93 11:48	6/01/93 12:00	36,8 H
38	2/01/93 07:30	2/01/93 08:18	5/01/93 15:00	5/01/93 15:48	31,5 H
39	2/01/93 10:12	5/01/93 15:12	5/01/93 15:48	6/01/93 11:48	31,5 H
40	2/01/93 08:18	2/01/93 08:30	6/01/93 10:54	6/01/93 11:36	36,6 H
41	4/01/93 11:54	5/01/93 12:06	6/01/93 11:48	6/01/93 12:00	12,9 H
42	2/01/93 12:48	2/01/93 13:12	6/01/93 11:36	6/01/93 12:00	36,6 H
43	5/01/93 10:54	6/01/93 08:24	5/01/93 14:30	6/01/93 12:00	14,1 H
44	6/01/93 14:00	11/01/93 08:00	6/01/93 14:00	11/01/93 08:00	Aucun
45	13/01/93 10:48	13/01/93 12:24	10/01/93 16:12	11/01/93 08:18	14,3 H
46	11/01/93 08:00	11/01/93 14:30	11/01/93 11:42	12/01/93 08:42	11,3 H
47	11/01/93 08:00	11/01/93 13:00	10/01/93 15:00	11/01/93 10:30	17,3 H
48	13/01/93 09:42	13/01/93 13:12	11/01/93 10:30	11/01/93 14:00	17,3 H
49	12/01/93 13:12	12/01/93 14:42	11/01/93 14:00	11/01/93 15:30	17,3 H
50	11/01/93 08:00	15/01/93 08:12	11/01/93 15:30	16/01/93 08:12	Aucun
51	16/01/93 08:12	17/01/93 16:12	16/01/93 08:12	17/01/93 16:12	Aucun
52	2/01/93 09:30	4/01/93 13:00	17/01/93 11:30	19/01/93 14:30	81,1 H
53	4/01/93 14:54	4/01/93 15:48	16/01/93 10:12	16/01/93 11:36	69,7 H
54	4/01/93 12:00	5/01/93 11:00	13/01/93 14:18	16/01/93 13:48	93,8 H
55	3/01/93 11:00	5/01/93 08:48	16/01/93 12:09	18/01/93 09:27	80,8 H

TABLEAU N°4: CARACTERISTIQUES DES TACHES (suite)

56	2/01/93 08:18	2/01/93 13:36	17/01/93 08:00	17/01/93 13:18	93,2	H
57	2/01/93 11:30	2/01/93 14:12	17/01/93 13:18	17/01/93 16:00	95,3	H
58	2/01/93 16:00	3/01/93 09:00	18/01/93 09:30	18/01/93 12:00	96,0	H
59	3/01/93 09:24	3/01/93 11:00	18/01/93 12:48	18/01/93 14:24	96,4	H
60	6/01/93 08:24	9/01/93 15:12	17/01/93 08:42	18/01/93 15:30	59,8	H
61	2/01/93 08:30	3/01/93 07:48	16/01/93 15:18	17/01/93 14:36	91,3	H
62	2/01/93 12:00	3/01/93 08:00	17/01/93 11:00	17/01/93 16:30	93,0	H
63	2/01/93 10:06	3/01/93 13:48	16/01/93 07:48	17/01/93 11:00	82,7	H
64	13/01/93 12:24	16/01/93 09:36	17/01/93 09:12	17/01/93 15:54	14,3	H
65	4/01/93 15:06	5/01/93 09:54	17/01/93 10:06	17/01/93 14:24	72,0	H
66	3/01/93 08:42	3/01/93 13:06	17/01/93 08:48	17/01/93 13:12	85,1	H
67	2/01/93 13:12	12/01/93 08:42	9/01/93 13:00	19/01/93 08:30	42,3	H
68	2/01/93 08:42	4/01/93 09:42	13/01/93 10:48	17/01/93 12:18	78,6	H
69	6/01/93 10:30	17/01/93 11:00	23/01/93 10:06	1/02/93 10:36	93,1	H
70	5/01/93 08:30	11/01/93 15:00	5/01/93 15:18	12/01/93 13:18	06,8	H
71	2/01/93 09:00	4/01/93 08:24	12/01/93 07:54	14/01/93 16:18	66,9	H
72	2/01/93 09:00	2/01/93 11:54	16/01/93 14:36	17/01/93 08:00	90,1	H
73	5/01/93 14:24	6/01/93 08:12	18/01/93 10:42	18/01/93 14:00	73,3	H
74	4/01/93 08:24	5/01/93 09:06	13/01/93 16:18	17/01/93 08:00	66,9	H
75	5/01/93 11:36	5/01/93 14:24	18/01/93 07:54	18/01/93 10:42	73,3	H
76	6/01/93 07:30	9/01/93 13:10	12/01/93 14:48	17/01/93 10:58	49,3	H
77	4/01/93 15:30	10/01/93 09:00	10/01/93 08:36	13/01/93 11:36	27,6	H
78	5/01/93 15:00	11/01/93 15:42	10/01/93 08:42	16/01/93 09:24	19,7	H
79	4/01/93 09:00	4/01/93 16:30	9/01/93 11:36	10/01/93 09:36	27,6	H
80	5/01/93 07:30	9/01/93 10:30	10/01/93 09:36	12/01/93 13:06	27,6	H
81	5/01/93 08:30	5/01/93 14:12	12/01/93 07:36	12/01/93 13:18	41,6	H
82	10/01/93 07:30	10/01/93 16:00	16/01/93 12:24	17/01/93 11:54	38,8	H
83	6/01/93 10:18	9/01/93 09:48	12/01/93 15:12	13/01/93 14:42	38,8	H
84	10/01/93 07:30	10/01/93 16:00	16/01/93 12:24	17/01/93 11:54	38,8	H
85	6/01/93 10:18	9/01/93 12:36	12/01/93 13:18	13/01/93 15:06	36,5	H
86	5/01/93 08:30	6/01/93 10:18	11/01/93 11:00	12/01/93 13:18	36,5	H
87	5/01/93 08:30	6/01/93 10:00	10/01/93 09:48	11/01/93 11:48	26,8	H
88	4/01/93 13:30	4/01/93 15:18	16/01/93 16:18	17/01/93 09:06	70,8	H
89	4/01/93 16:00	4/01/93 16:30	17/01/93 07:48	17/01/93 08:18	68,8	H
90	5/01/93 07:30	5/01/93 07:48	17/01/93 08:18	17/01/93 08:36	68,8	H
91	5/01/93 15:06	5/01/93 14:00	13/01/93 08:06	13/01/93 15:42	61,2	H
92	4/01/93 15:30	5/01/93 08:00	16/01/93 07:36	16/01/93 09:06	60,6	H
93	4/01/93 15:30	5/01/93 08:30	13/01/93 16:06	16/01/93 09:06	60,1	H
94	5/01/93 08:30	6/01/93 08:42	11/01/93 13:06	12/01/93 13:18	38,1	H
95	6/01/93 13:12	6/01/93 15:24	18/01/93 14:30	19/01/93 07:42	69,3	H
96	6/01/93 15:24	9/01/93 08:36	19/01/93 07:42	19/01/93 09:54	69,3	H
97	6/01/93 10:30	6/01/93 13:12	18/01/93 12:18	18/01/93 14:30	69,3	H
98	2/01/93 10:36	2/01/93 15:06	16/01/93 13:06	17/01/93 08:06	87,0	H
99	6/01/93 10:30	9/01/93 14:30	17/01/93 10:30	18/01/93 14:30	59,5	H
100	2/01/93 10:36	2/01/93 12:36	16/01/93 15:36	17/01/93 08:06	89,5	H
101	2/01/93 10:36	2/01/93 12:36	16/01/93 15:36	17/01/93 08:06	89,5	H
102	9/01/93 08:00	9/01/93 09:30	23/01/93 13:00	23/01/93 14:30	89,5	H
103	5/01/93 08:30	5/01/93 10:12	12/01/93 11:36	12/01/93 13:18	45,1	H
104	4/01/93 09:00	4/01/93 10:42	13/01/93 09:24	13/01/93 11:36	59,9	H
105	2/01/93 10:36	3/01/93 11:54	13/01/93 16:18	17/01/93 08:36	81,7	H
106	3/01/93 14:42	3/01/93 15:48	18/01/93 10:36	18/01/93 12:12	89,9	H
107	3/01/93 13:06	3/01/93 14:36	18/01/93 08:36	18/01/93 10:06	89,5	H
108	6/01/93 14:00	9/01/93 11:00	12/01/93 14:18	13/01/93 11:48	34,3	H
109	4/01/93 09:00	4/01/93 10:30	13/01/93 09:36	13/01/93 11:36	60,1	H
110	6/01/93 10:30	6/01/93 15:00	18/01/93 15:00	19/01/93 10:00	72,0	H
111	2/01/93 09:00	2/01/93 13:42	17/01/93 16:24	18/01/93 12:06	100,4	H
112	12/01/93 07:42	12/01/93 08:06	16/01/93 14:54	16/01/93 15:18	23,7	H

TABLEAU N°4: CARACTERISTIQUES DES TACHES (suite)

113	12/01/93 08:36	12/01/93 12:06	16/01/93 15:48	17/01/93 09:48	23,7	H
114	3/01/93 10:30	3/01/93 15:48	18/01/93 07:48	18/01/93 13:06	90,8	H
115	6/01/93 10:30	6/01/93 10:42	18/01/93 14:18	18/01/93 14:30	71,3	H
116	5/01/93 12:12	5/01/93 14:48	16/01/93 12:12	16/01/93 14:48	59,5	H
117	2/01/93 10:36	2/01/93 14:00	16/01/93 14:12	17/01/93 08:06	88,1	H
118	4/01/93 09:30	5/01/93 14:24	13/01/93 15:12	16/01/93 10:36	64,7	H
119	11/01/93 08:00	12/01/93 07:42	16/01/93 12:30	17/01/93 12:12	29,5	H
120	11/01/93 14:30	12/01/93 09:48	13/01/93 08:18	13/01/93 13:06	11,3	H
121	2/01/93 10:36	2/01/93 15:06	16/01/93 13:06	17/01/93 08:36	87,0	H
122	11/01/93 10:30	16/01/93 15:30	18/01/93 10:36	23/01/93 15:36	42,6	H
123	4/01/93 15:30	6/01/93 08:00	12/01/93 09:36	13/01/93 11:36	45,6	H
124	4/01/93 15:30	10/01/93 15:18	9/01/93 11:48	13/01/93 11:36	21,8	H
125	6/01/93 09:00	9/01/93 08:30	16/01/93 12:06	17/01/93 11:36	53,6	H
126	6/01/93 14:00	9/01/93 11:00	17/01/93 12:06	18/01/93 09:06	57,6	H
127	6/01/93 07:30	6/01/93 10:30	6/01/93 10:48	6/01/93 14:18	03,3	H
128	6/01/93 10:30	13/01/93 08:00	6/01/93 14:18	13/01/93 11:48	03,3	H
129	11/01/93 16:18	12/01/93 15:30	18/01/93 08:54	19/01/93 08:06	35,6	H
130	13/01/93 08:00	13/01/93 11:00	13/01/93 11:48	13/01/93 14:48	03,3	H
131	4/01/93 09:00	6/01/93 08:00	13/01/93 12:06	17/01/93 10:36	62,1	H
132	6/01/93 09:00	10/01/93 14:30	13/01/93 14:36	18/01/93 10:36	47,6	H
133	9/01/93 09:48	10/01/93 11:36	20/01/93 10:48	23/01/93 12:36	77,5	H
134	3/01/93 14:00	4/01/93 12:48	17/01/93 15:18	18/01/93 14:06	86,3	H
135	6/01/93 10:00	9/01/93 12:00	11/01/93 11:48	12/01/93 13:18	26,8	H
136	4/01/93 14:42	5/01/93 16:12	13/01/93 16:12	17/01/93 08:42	61,0	H
137	11/01/93 08:00	11/01/93 09:00	17/01/93 13:30	17/01/93 14:30	39,0	H
138	2/01/93 14:30	2/01/93 14:54	4/01/93 10:00	4/01/93 15:12	13,0	H
139	2/01/93 14:54	2/01/93 15:18	4/01/93 15:12	4/01/93 15:36	13,0	H
140	2/01/93 15:18	2/01/93 16:06	4/01/93 15:36	4/01/93 16:24	13,0	H
141	2/01/93 16:06	3/01/93 07:36	4/01/93 16:24	4/01/93 07:54	13,0	H
142	3/01/93 07:36	3/01/93 07:42	4/01/93 07:54	4/01/93 08:00	13,0	H
143	3/01/93 07:42	3/01/93 11:00	4/01/93 08:00	4/01/93 11:48	13,0	H
144	3/01/93 11:30	3/01/93 12:12	4/01/93 11:48	5/01/93 12:30	13,0	H
145	3/01/93 12:12	3/01/93 12:54	5/01/93 12:30	5/01/93 13:12	13,0	H
146	3/01/93 12:54	3/01/93 13:18	5/01/93 13:12	5/01/93 13:36	13,0	H
147	3/01/93 13:18	3/01/93 13:48	5/01/93 13:36	5/01/93 14:06	13,0	H
148	3/01/93 13:54	3/01/93 14:24	5/01/93 14:12	5/01/93 14:42	13,0	H
149	3/01/93 14:18	4/01/93 13:48	5/01/93 09:48	6/01/93 09:18	13,0	H
150	4/01/93 13:48	5/01/93 10:48	6/01/93 09:18	6/01/93 15:48	13,0	H
151	5/01/93 10:48	5/01/93 11:36	6/01/93 15:48	6/01/93 16:06	13,0	H
152	5/01/93 11:36	12/01/93 08:36	6/01/93 16:06	13/01/93 13:36	13,0	H
153	5/01/93 11:36	6/01/93 08:36	11/01/93 14:12	12/01/93 11:42	36,6	H
154	3/01/93 14:18	4/01/93 13:48	3/01/93 14:36	4/01/93 14:06	13,0	H
155	4/01/93 13:48	6/01/93 08:18	4/01/93 15:06	6/01/93 09:36	31,3	H
156	6/01/93 08:18	6/01/93 14:18	6/01/93 13:06	9/01/93 09:36	34,3	H
157	4/01/93 13:48	6/01/93 12:48	6/01/93 14:06	10/01/93 13:06	30,0	H
158	6/01/93 12:48	9/01/93 09:48	10/01/93 13:06	11/01/93 10:06	30,0	H
159	6/01/93 08:36	6/01/93 10:06	12/01/93 11:42	12/01/93 13:12	36,6	H
160	6/01/93 10:06	9/01/93 15:24	12/01/93 13:12	16/01/93 09:00	36,6	H
161	11/01/93 14:30	11/01/93 15:48	13/01/93 15:36	16/01/93 07:54	18,1	H
162	11/01/93 15:18	12/01/93 12:30	13/01/93 16:24	16/01/93 13:36	18,1	H
163	12/01/93 12:30	12/01/93 14:30	16/01/93 13:36	16/01/93 15:36	18,1	H
164	2/01/93 16:06	3/01/93 09:18	13/01/93 10:54	13/01/93 13:36	71,8	H
165	11/01/93 14:30	11/01/93 14:54	16/01/93 09:12	16/01/93 09:36	20,7	H
166	11/01/93 14:54	12/01/93 09:54	16/01/93 09:36	16/01/93 14:06	20,7	H
167	12/01/93 11:48	12/01/93 11:54	16/01/93 15:24	16/01/93 15:30	20,6	H
168	12/01/93 11:54	12/01/93 13:54	16/01/93 15:30	17/01/93 08:30	20,6	H
169	12/01/93 07:42	12/01/93 08:00	16/01/93 16:30	17/01/93 07:48	25,3	H

TABLEAU N°4: CARACTERISTIQUES DES TACHES (suite)

170	5/01/93	10:48	6/01/93	11:48	12/01/93	13:06	13/01/93	13:36	44,3	H
171	2/01/93	15:18	3/01/93	09:00	17/01/93	09:24	17/01/93	12:36	88,1	H
172	2/01/93	15:18	3/01/93	12:06	16/01/93	15:48	17/01/93	12:36	85,5	H
173	12/01/93	08:00	12/01/93	09:30	17/01/93	07:48	17/01/93	09:18	25,3	H
174	5/01/93	10:48	5/01/93	10:54	16/01/93	16:30	17/01/93	07:36	64,7	H
175	3/01/93	13:48	3/01/93	14:00	16/01/93	13:48	16/01/93	14:00	76,5	H
176	12/01/93	09:48	12/01/93	11:42	13/01/93	13:06	13/01/93	14:30	11,3	H
177	2/01/93	12:42	5/01/93	12:30	11/01/93	07:36	13/01/93	16:24	54,9	H
178	5/01/93	12:00	5/01/93	13:36	17/01/93	13:12	17/01/93	14:48	69,2	H
179	5/01/93	12:30	9/01/93	10:12	13/01/93	16:24	17/01/93	14:36	54,9	H
180	11/01/93	08:00	12/01/93	12:42	13/01/93	08:54	16/01/93	13:36	17,9	H
181	11/01/93	08:00	11/01/93	08:24	17/01/93	14:06	17/01/93	14:30	39,6	H
182	2/01/93	14:30	3/01/93	09:48	16/01/93	12:48	17/01/93	08:06	83,3	H
183	2/01/93	15:18	3/01/93	12:48	12/01/93	16:06	13/01/93	13:36	68,8	H
184	2/01/93	14:54	9/01/93	10:36	6/01/93	16:30	13/01/93	12:42	35,6	H
185	5/01/93	11:36	6/01/93	15:06	13/01/93	13:06	17/01/93	07:36	52,5	H
186	9/01/93	10:36	11/01/93	10:18	13/01/93	12:42	17/01/93	12:24	35,6	H
187	6/01/93	08:18	9/01/93	08:48	11/01/93	14:36	12/01/93	15:06	31,3	H
188	12/01/93	12:42	12/01/93	15:12	16/01/93	13:36	16/01/93	16:06	17,9	H
189	6/01/93	08:18	6/01/93	15:48	11/01/93	15:30	12/01/93	14:00	32,2	H
190	12/01/93	08:12	12/01/93	11:48	13/01/93	11:00	13/01/93	14:36	11,3	H
191	12/01/93	14:48	13/01/93	13:18	16/01/93	08:36	16/01/93	16:06	11,3	H
192	3/01/93	11:30	4/01/93	15:00	9/01/93	08:06	10/01/93	12:06	31,1	H
193	3/01/93	14:00	3/01/93	16:12	16/01/93	14:00	16/01/93	16:12	76,5	H
194	9/01/93	13:30	9/01/93	14:00	20/01/93	15:36	20/01/93	16:06	78,6	H
195	6/01/93	15:48	9/01/93	07:54	12/01/93	14:00	12/01/93	15:06	32,2	H
196	4/01/93	15:00	6/01/93	09:30	10/01/93	12:06	11/01/93	15:36	31,1	H
197	3/01/93	16:12	4/01/93	07:36	16/01/93	16:12	17/01/93	07:36	76,5	H
198	5/01/93	07:30	5/01/93	09:30	12/01/93	10:36	12/01/93	13:06	45,6	H
199	9/01/93	10:30	10/01/93	09:00	12/01/93	13:06	13/01/93	11:36	27,6	H
200	4/01/93	09:00	4/01/93	10:54	13/01/93	09:12	13/01/93	11:36	59,7	H
201	3/01/93	12:12	5/01/93	10:00	11/01/93	15:18	13/01/93	13:36	54,1	H
202	6/01/93	09:30	9/01/93	09:00	11/01/93	15:36	12/01/93	15:06	31,1	H
203	11/01/93	10:18	11/01/93	11:00	17/01/93	12:24	17/01/93	13:06	35,6	H
204	11/01/93	08:24	11/01/93	09:06	17/01/93	11:00	17/01/93	12:12	36,6	H
205	6/01/93	08:00	6/01/93	10:00	17/01/93	10:36	17/01/93	13:06	62,1	H
206	5/01/93	14:24	5/01/93	15:54	17/01/93	10:36	17/01/93	12:36	64,7	H
207	11/01/93	08:00	11/01/93	11:36	17/01/93	08:00	17/01/93	11:36	34,0	H
208	9/01/93	09:48	13/01/93	09:48	12/01/93	14:48	18/01/93	14:48	30,3	H
209	11/01/93	09:06	11/01/93	09:30	17/01/93	12:12	17/01/93	12:36	36,6	H
210	11/01/93	09:30	11/01/93	16:00	17/01/93	12:36	18/01/93	09:36	36,6	H
211	13/01/93	09:48	13/01/93	13:18	18/01/93	15:36	19/01/93	09:06	30,3	H
212	13/01/93	13:18	17/01/93	07:48	17/01/93	08:48	18/01/93	12:48	13,0	H
213	12/01/93	07:54	12/01/93	08:24	18/01/93	10:30	18/01/93	11:00	36,6	H
214	17/01/93	07:48	17/01/93	12:18	18/01/93	12:48	19/01/93	07:48	13,0	H
215	17/01/93	12:18	17/01/93	12:48	19/01/93	07:48	19/01/93	08:18	13,0	H
216	17/01/93	12:48	17/01/93	13:48	19/01/93	08:18	19/01/93	09:18	13,0	H
217	17/01/93	13:48	17/01/93	14:18	19/01/93	09:18	19/01/93	09:48	13,0	H
218	4/01/93	13:00	5/01/93	08:00	18/01/93	08:36	18/01/93	12:42	81,1	H
219	13/01/93	12:30	13/01/93	14:00	20/01/93	09:36	20/01/93	11:36	40,1	H
220	13/01/93	10:12	13/01/93	10:36	20/01/93	10:00	20/01/93	10:24	42,3	H
221	19/01/93	15:42	20/01/93	08:48	20/01/93	14:30	20/01/93	07:36	07,3	H
222	8/01/93	16:06	9/01/93	07:54	23/01/93	15:36	23/01/93	16:24	93,0	H
223	11/01/93	08:00	11/01/93	08:12	17/01/93	14:18	17/01/93	14:30	39,8	H
224	16/01/93	12:30	16/01/93	13:18	20/01/93	12:00	20/01/93	12:48	33,5	H
225	13/01/93	09:48	13/01/93	10:00	19/01/93	13:48	19/01/93	14:00	37,5	H
226	13/01/93	14:54	16/01/93	10:48	19/01/93	09:54	19/01/93	15:18	29,5	H

TABLEAU N°4: CARACTERISTIQUES DES TACHES (suite)

227	18/01/93	13:12	18/01/93	16:12	19/01/93	10:36	19/01/93	14:06	06,4	H
228	13/01/93	12:48	16/01/93	07:48	16/01/93	15:36	17/01/93	10:36	11,3	H
229	19/01/93	07:42	19/01/93	14:12	20/01/93	10:30	23/01/93	08:00	11,3	H
230	17/01/93	11:54	17/01/93	13:24	23/01/93	11:54	23/01/93	13:24	34,0	H
231	17/01/93	12:54	18/01/93	08:24	23/01/93	12:54	24/01/93	08:24	34,0	H
232	11/01/93	14:30	12/01/93	13:00	16/01/93	08:48	16/01/93	16:18	20,3	H
233	13/01/93	09:42	17/01/93	15:12	17/01/93	16:18	20/01/93	12:48	23,1	H
234	16/01/93	09:36	16/01/93	11:36	17/01/93	15:54	18/01/93	08:24	14,3	H
235	16/01/93	11:36	19/01/93	07:36	18/01/93	08:24	20/01/93	13:54	14,3	H
236	12/01/93	09:42	16/01/93	13:24	16/01/93	11:36	18/01/93	14:48	18,4	H
237	9/01/93	11:00	10/01/93	08:30	20/01/93	08:36	20/01/93	15:06	74,1	H
238	11/01/93	08:00	12/01/93	12:00	16/01/93	12:36	17/01/93	16:06	29,6	H
239	17/01/93	14:18	18/01/93	14:06	18/01/93	08:36	19/01/93	08:24	03,3	H
240	18/01/93	14:06	19/01/93	08:06	19/01/93	08:24	19/01/93	11:54	03,3	H
241	19/01/93	11:36	19/01/93	12:06	19/01/93	14:54	19/01/93	15:24	03,3	H
242	19/01/93	12:06	19/01/93	15:06	19/01/93	15:24	20/01/93	09:24	03,3	H
243	16/01/93	14:18	17/01/93	08:18	23/01/93	08:18	23/01/93	11:48	37,0	H
244	9/01/93	14:30	10/01/93	10:00	18/01/93	14:30	19/01/93	10:00	59,5	H
245	10/01/93	08:06	10/01/93	11:36	24/01/93	09:54	24/01/93	13:24	86,8	H
246	11/01/93	15:00	16/01/93	14:48	12/01/93	13:18	17/01/93	13:06	06,8	H
247	19/01/93	15:06	19/01/93	15:36	20/01/93	09:24	20/01/93	09:54	03,3	H
248	19/01/93	15:36	20/01/93	08:06	20/01/93	09:54	20/01/93	11:54	03,3	H
249	16/01/93	15:30	16/01/93	15:42	24/01/93	10:54	24/01/93	11:36	46,9	H
250	6/01/93	11:36	6/01/93	16:06	20/01/93	11:42	20/01/93	16:12	85,1	H
251	18/01/93	15:18	18/01/93	16:06	19/01/93	15:24	19/01/93	16:12	08,6	H
252	18/01/93	13:42	18/01/93	15:00	19/01/93	10:12	19/01/93	12:00	05,5	H
253	18/01/93	15:00	19/01/93	09:06	19/01/93	12:00	19/01/93	15:06	05,5	H
254	19/01/93	08:00	19/01/93	08:18	20/01/93	08:36	20/01/93	08:54	09,1	H
255	18/01/93	13:42	18/01/93	16:06	18/01/93	13:42	18/01/93	16:06	Aucun	
256	18/01/93	16:06	19/01/93	14:06	18/01/93	16:06	19/01/93	14:06	Aucun	
257	20/01/93	08:48	20/01/93	09:18	20/01/93	08:48	20/01/93	09:18	Aucun	
258	20/01/93	09:18	20/01/93	15:48	20/01/93	09:18	20/01/93	15:48	Aucun	
259	20/01/93	15:48	23/01/93	07:48	20/01/93	15:48	23/01/93	07:48	Aucun	
260	20/01/93	15:48	20/01/93	16:06	20/01/93	16:30	21/01/93	07:48	00,7	H
261	23/01/93	07:48	23/01/93	14:18	23/01/93	07:48	23/01/93	14:18	Aucun	
262	23/01/93	14:18	24/01/93	13:48	23/01/93	14:18	24/01/93	13:48	Aucun	
263	24/01/93	13:48	31/01/93	10:48	24/01/93	13:48	31/01/93	10:48	Aucun	
264	31/01/93	10:48	2/02/93	15:18	31/01/93	10:48	2/02/93	15:18	Aucun	

figure 1: Planning des tâches du projet R6

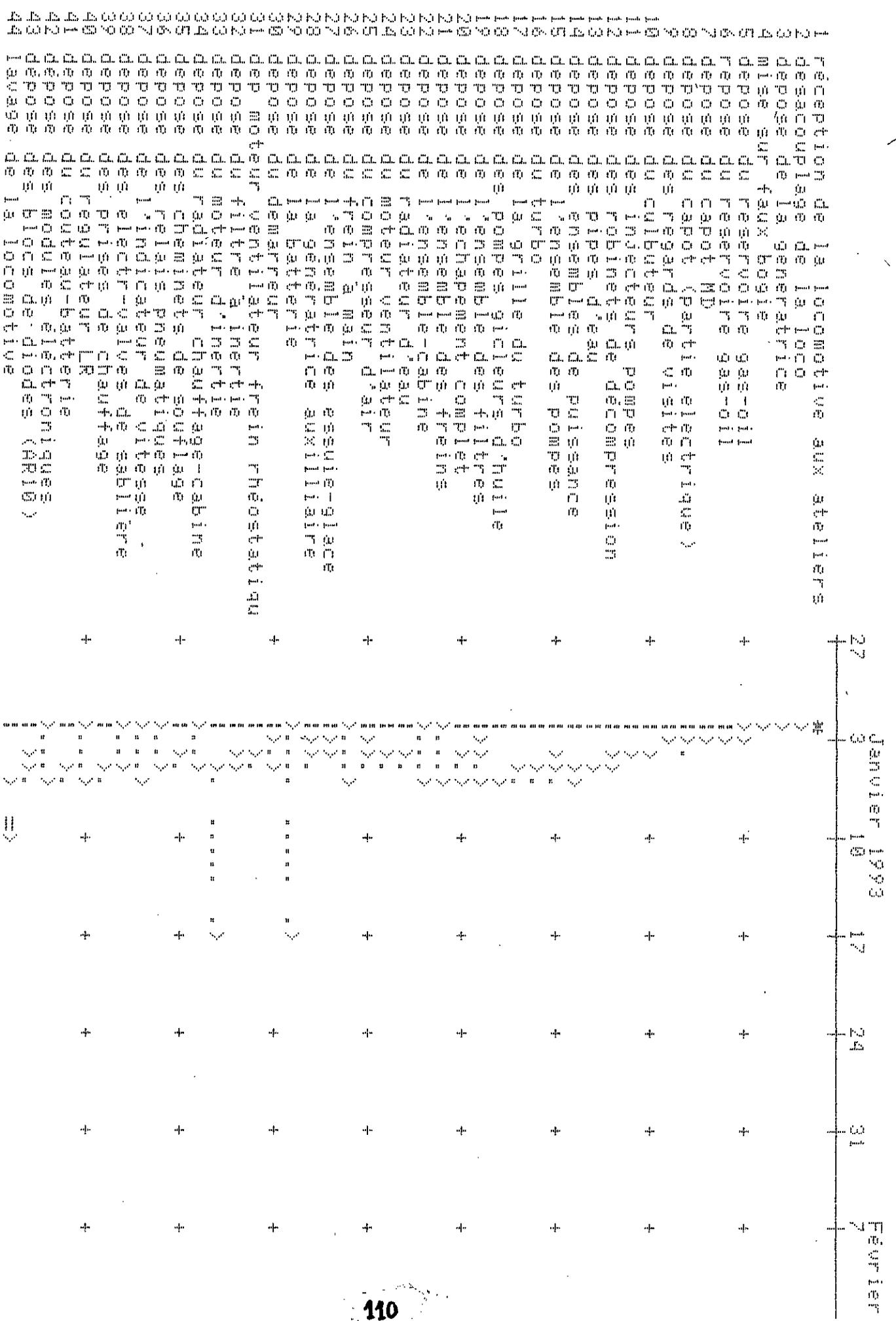


Figure 1: Planning des tâches
du projet RQ (suite)

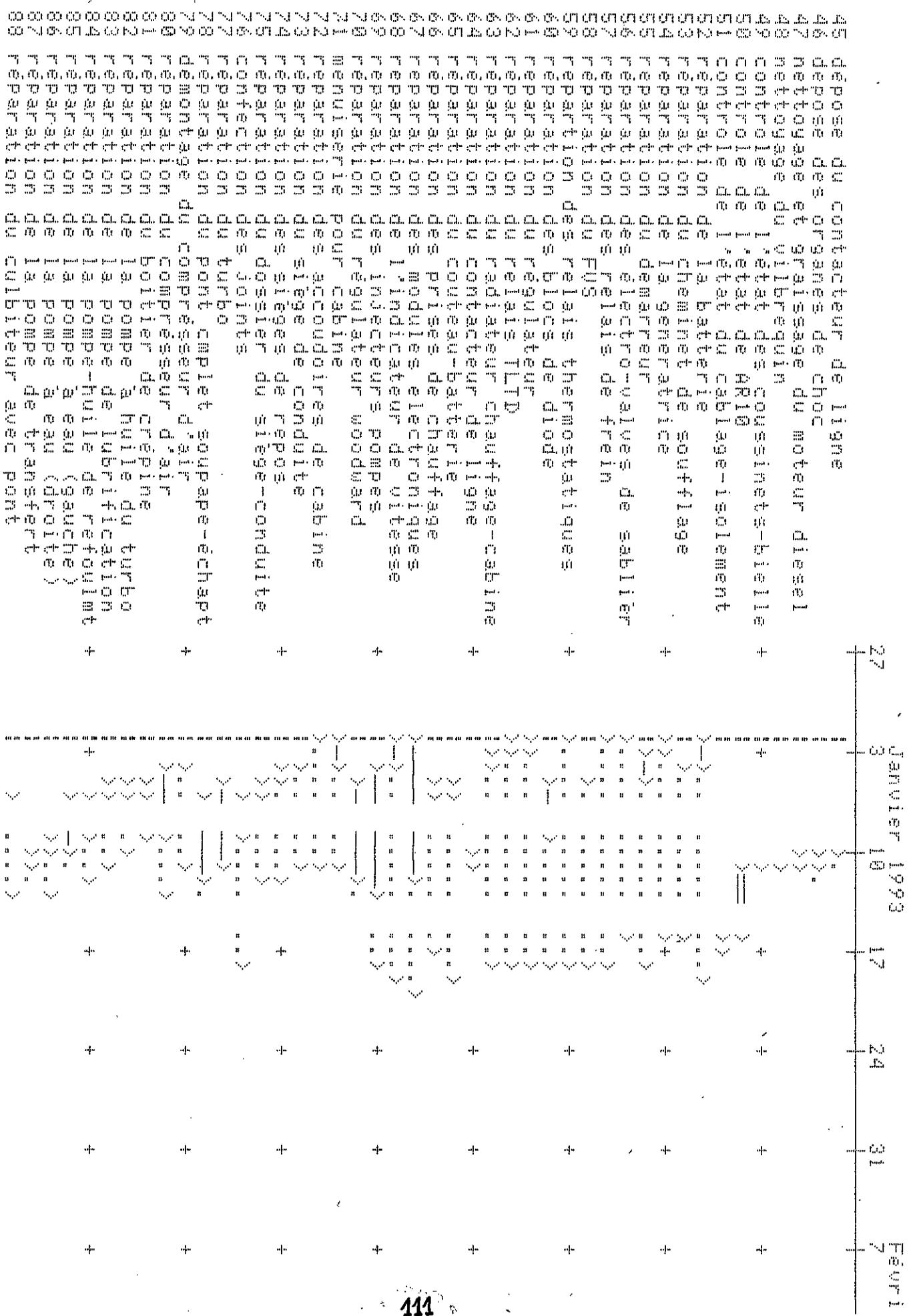


Figure 1: Planning des tâches du Projet RG (suite)

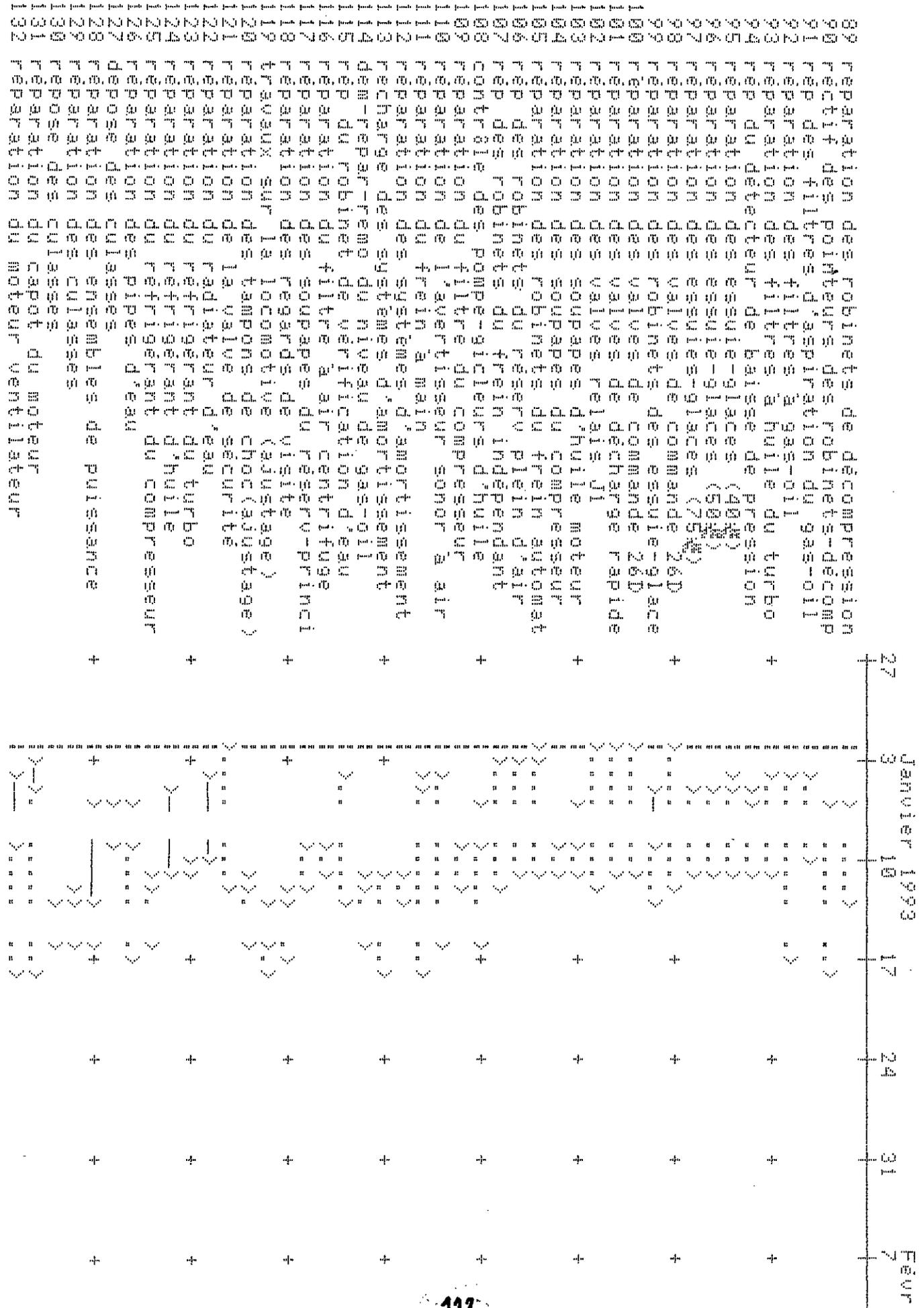


Figure 1: Planning des tâches du projet RC (suite)

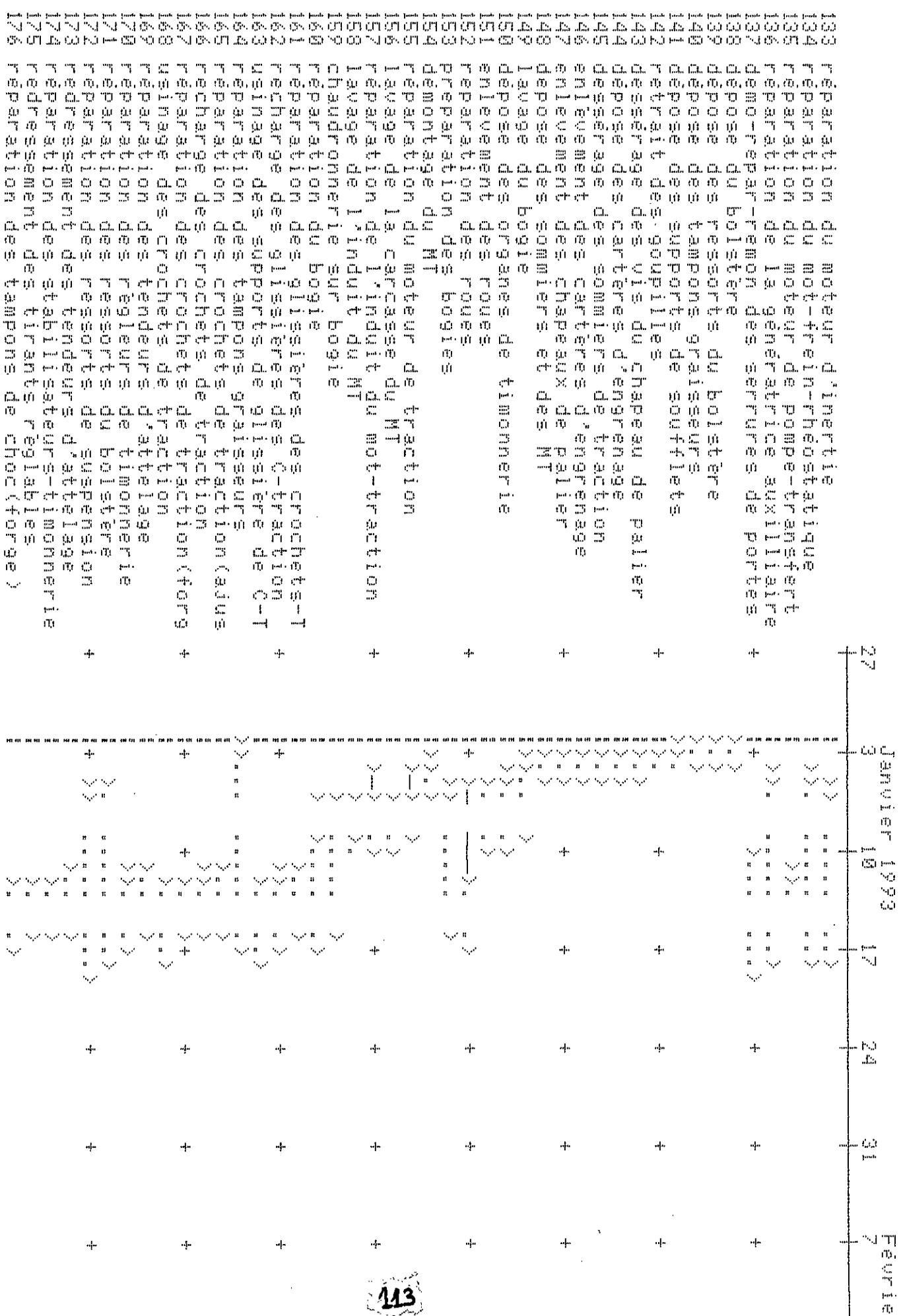
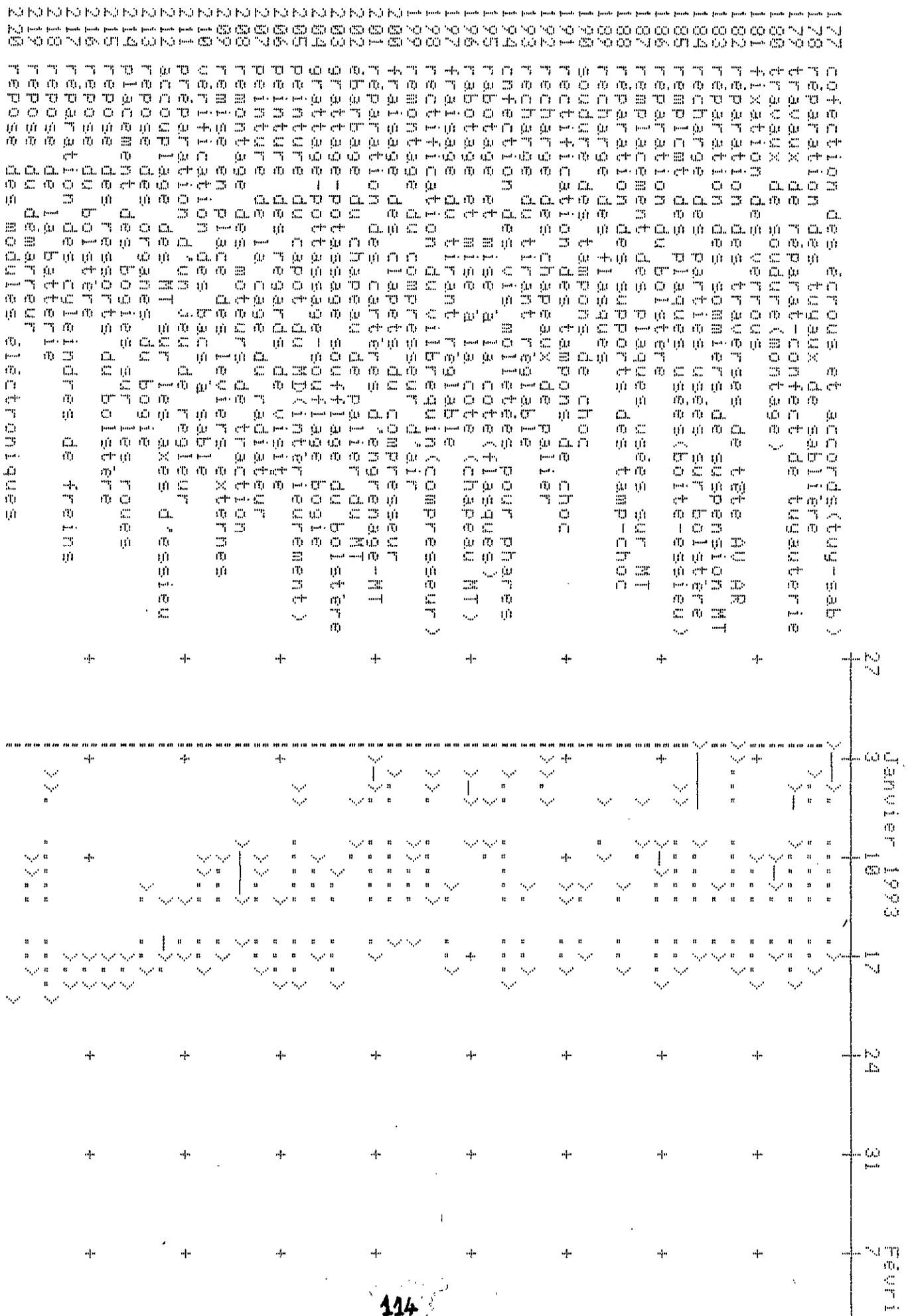


Figure 1: Planning des tâches du Projet R0 (suite)



ANNEXES

ANNEXE 1

DESCRIPTION DU PROJECT

PROJECT est un progiciel de planification et de suivi des projets. Il fait preuve d'une souplesse d'emploi, d'une polyvalence et d'une rapidité remarquables. Il facilite, ainsi, la gestion des plannings allant des plus simples aux plus complexes, et ceci grâce à sa capacité de :

- Calculer les coûts et les délais;

- Afficher le planning sous forme graphique, du type "diagramme de Gantt" ou "PERT";

- Répartir les ressources sur les activités.

Il nous permet aussi :

- De changer les activités, les ressources...etc;

- De vérifier instantanément l'incidence de chaque modification sur le planning général du projet;

- D'identifier les problèmes en puissance et prendre les mesures qui s'imposent;

- De comparer les plannings courants aux prévisions.

- De déterminer le planning le plus efficace;

- D'imprimer une grande variété de documents.

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

Le Microsoft Project propose sept écrans qui portent les noms:

- Calendrier;

- Activités;

- Ressources;

- Regard (View);

- Analyse;

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

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

Il est préférable avant de créer un planning pour un projet, de commencer par établir le calendrier afin d'y incorporer les jours fériés, les vacances, la semaine standard ainsi que le jour ouvrable standard ceci à partir du premier écran du calendrier. On peut désigner les heures de début et de fin de travail par jour ainsi que le temps de pose à partir du deuxième écran affichant une période de 24 heures divisée en 96 tranches de 1/4 d'heures.

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

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

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

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

L'écran analyse divisé lui aussi en deux zones affiche simultanément le planning prévisionnel et le planning courant, le fichier contenant les prévisions regroupe les informations relatives aux activités, au calendrier et aux ressources saisies au moment de la première élaboration du planning.

Le planning courant représente le document de travail qui nous permet de modifier au fur et à mesure de l'avancement du projet.

REMARQUE :

Une fois le fichier prévision constitué, il n'est plus possible d'en modifier les données puisque celles-ci serviront justement à la comparaison avec les informations courantes.

On peut à tout moment situer l'avancement du programme et d'analyser les écarts par rapport aux prévisions.

Si l'on utilise PROJECT pour suivre les coûts et les ressources d'un projet, le traitement de ses données sur un tableur permettra de juger rapidement l'impact de toute modification sur l'utilisation des ressources disponibles. la commande "Xporte" permet de transférer les données du projet dans d'autres applications comme Multiplan, Lotus, Dbase ou autres. On peut obtenir le coût prévisionnel, le cumul, le réel, l'écart en valeur absolue et en pourcentage, la période. Il en est de même pour les ressources. Ce qui autorise toute analyse d'impact de changement de coût sur le budget total ou d'offres différentes sur le budget prévu.

Pour obtenir confortablement dans un seul fichier un projet trop étendu, la commande "Xterne liaison" permet de définir une connection permanente entre deux fichiers permettant ainsi, d'utiliser dans un projet en cours (appelé principal) des informations issues d'un autre (nommé externe). Dès la mise en place de la liaison, le projet externe dans la totalité devient une seule activité dans le projet principal et apparait comme telle dans la liste des activités de ce programme. Les liaisons autorisées peuvent se présenter de différentes manières : on peut par exemple lier plusieurs projets externes en un projet principal ou procéder à des emboitements successifs, c'est à dire d' un projet (A) un

élément d'un plus grand (B), lui même composant de (C) encore plus étendu, et ainsi de suite

Projets externes

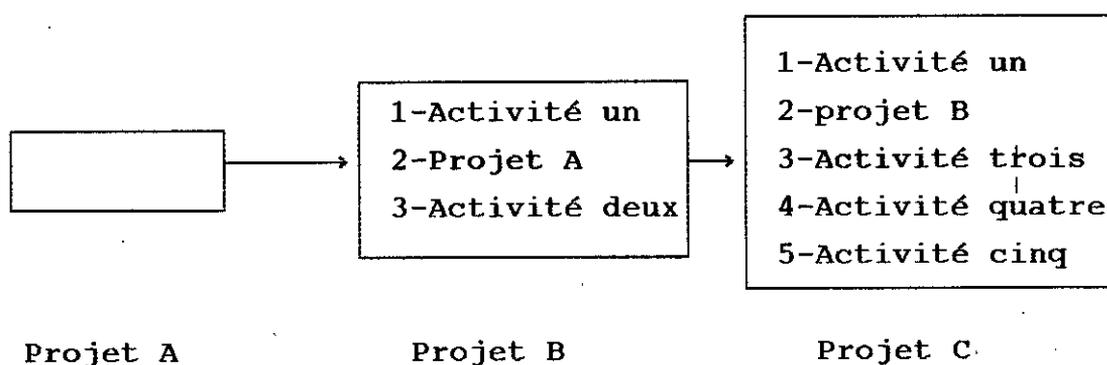
Projet A

Projet B

Projet C

Projet principal

- 1- Activité un
- 2- Activité deux
- 3- Projet A
- 4- Projet B
- 5- Projet C
- 6- Activité six
- 7- Activité sept
- 8- Activité huit



La capacité est limitée à 999 tâches, 16 antécédants par tâche, 9 ressources par activité, 256 ressources par fichier et 50000 jours-hommes par ressource.

ANNEXE 2
LA DISTRIBUTION BETA (β)

La distribution β est une distribution concernant une variable aléatoire t comprise dans l'intervalle $[A, B]$ où $A > 0$ et $B > 0$, et telle que la densité de probabilité est

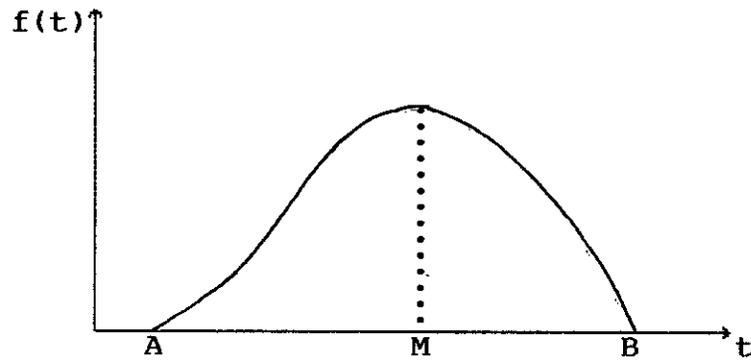
$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } -\infty < t < A \\ \frac{(t-A)^\alpha (B-t)^\nu}{(B-A)^{\alpha+\nu+1} \beta(\alpha+1, \nu+1)} & \text{si } A \leq t \leq B \\ 0 & \text{si } B < t < +\infty \end{cases} \quad (1)$$

où

$$\beta(m, n) = \int_0^1 x^{m-1} (1-x)^{n-1} dx = \frac{\Gamma(m) \cdot \Gamma(n)}{\Gamma(m+n)} \quad (2)$$

est la fonction eulérienne de seconde espèce.

La figure 1 donne l'aspect de cette distribution pour des valeurs données des paramètres.



On considère aussi la distribution β standardisée par la relation linéaire:

$$t = A + (B - A)U \quad (3)$$

Ce qui donne alors, après transformation:

$$\phi(U) = \begin{cases} 0 & \text{si } -\infty < U < 1 \\ \frac{U^\alpha (1-U)^\nu}{\beta(\alpha+1, \nu+1)} & \text{si } 0 \leq U \leq 1 \\ 0 & \text{si } 1 < U < +\infty \end{cases} \quad (4)$$

Pour la distribution β standardisée, on a :

$$U = E(U) = \frac{\alpha+1}{\alpha+\nu+2} \quad (5)$$

et

$$\sigma_u^2 = \frac{(\alpha+1)(\nu+1)}{(\alpha+\nu+3)(\alpha+\nu+2)^2} \quad (6)$$

Et pour la distribution β non standardisée :

$$\bar{t} = E(t) = A + (B-A) \frac{\alpha+1}{\alpha+\nu+2} \quad (7)$$

et

$$\sigma_t^2 = \frac{(B-A)^2 (\alpha+1)(\nu+1)}{(\alpha+\nu+3)(\alpha+\nu+2)^2} \quad (8)$$

D'autre part, le mode de cette dernière fonction correspondant à $f(t)=0$

$$M = \frac{A \cdot \nu + B \cdot \alpha}{\alpha + \nu} \quad (9)$$

Ce qui permet d'écrire \bar{t} de la façon suivante :

$$\bar{t} = E(t) = \frac{A+B+(\alpha+\nu) \cdot M}{\alpha+\nu+2} \quad (10)$$

Dans la méthode PERT on a choisi :

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = 2 + \sqrt{2} \\ \nu = 2 - \sqrt{2} \end{array} \right. \quad \text{ou} \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha = 2 - \sqrt{2} \\ \nu = 2 + \sqrt{2} \end{array} \right. \quad (11)$$

Ceci donne

$$\bar{t} = E(t) = \frac{A+B+(\alpha+\nu) \cdot M}{\alpha+\nu+2} = \frac{A+B+4M}{6} \quad (12)$$

$$\sigma_t^2 = \frac{(B-A)^2 (\alpha+1)(\nu+1)}{(\alpha+\nu+3)(\alpha+\nu+2)^2} = \frac{(B-A)^2}{36} = \left[\frac{B-A}{6} \right]^2 \quad (13)$$

On admet donc pour \bar{t} une valeur approchée si :

$$M = \frac{(2-\sqrt{2}) \cdot A + (2+\sqrt{2}) \cdot B}{4} \quad (14)$$

ou

$$M = \frac{(2-\sqrt{2}) \cdot A + (2-\sqrt{2}) \cdot B}{4} \quad (15)$$

ANNEXE 3

ETUDE DE LA COMPLEXITE

La théorie de la complexité des algorithmes est née de la nécessité de disposer d'une mesure comparative objective universelle de l'efficacité des algorithmes.

Définitions⁽⁴⁾:

- Taille d'un problème: On appelle taille d'un problème, le nombre de bits qui doivent être utilisés dans un codage binaire des données de ce problème.

- Complexité d'un algorithme : On dit qu'un algorithme de résolution A est de complexité d'ordre $f(n)$ (on note $O(f(n))$) si la croissance asymptotique du temps de calcul $T_A(n)$ en fonction de n , taille du problème, est d'ordre $f(n)$ au plus (où $f(n)$ est une fonction positive croissante de n , le plus souvent une fonction polynomiale).

Mesure de la complexité: La complexité d'un algorithme peut être mesurée par deux méthodes différentes, l'une expérimentale, l'autre par décompte du nombre d'opérations. Pour notre cas on va utiliser la première.

Mesure expérimentale: Elle consiste à observer les temps de calcul obtenus sur des séries de problèmes-tests de taille suffisamment importante pour trouver une fonction f permettant de rendre compte, au mieux, des observations effectuées.

L'application de cette méthode nous donne le graphe présenté sur la figure n°4 avec:

- en abscisse: le nombre de tâches
- en ordonnée: le temps de calcul (en seconde)

A l'aide d'un ajustement polynomial nous obtenons la fonction

$$T(n) = 0.31114 + 0.41503 * n - 0.000375 * n^2 + 0.00001 * n^3$$

$T(n)$ exprime le temps de calcul en fonction de la taille n du problème

Donc, nous pouvons dire que l'implémentation de notre heuristique est polynomiale d'ordre 3.

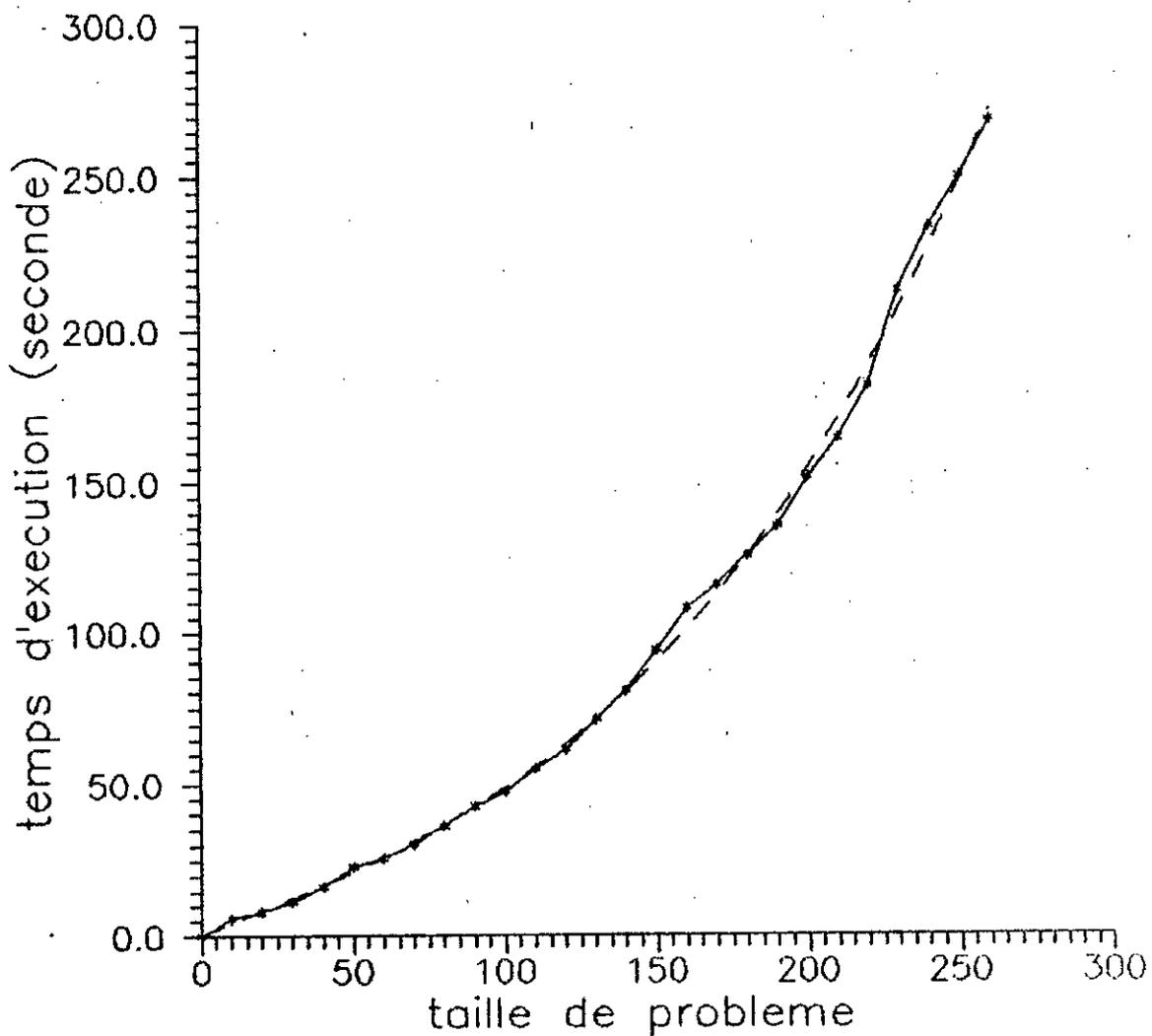


figure n°4: $T(n)$ le temps de calcul en fonction de la taille n

— courbe réelle
 - - - courbe d'ajustement