

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

»O«

4/89

وزارة التعليم العالي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

»O«

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

»O«

Département : **GENIE INDUSTRIEL**

المدرسة الوطنية للتكنولوجيا
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de Fin d'Etudes

Sujet

ORGANISATION DE L'EXECUTION
D'UNE COMMANDE DE RENOVATION
A L'U.C.M.A. (OUED SMAR)

Proposé par :

E. P. T. V. C.

Etudié par :

D. HADJAZI

B. KHEZNADJI

Dirigé par :

Mme GASMI

Promotion : JUIN 1989

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

»O«

وزارة التعليم العالي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

»O«

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

»O«

Département : GENIE INDUSTRIEL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de Fin d'Etudes

Sujet

ORGANISATION DE L'EXECUTION
D'UNE COMMANDE DE RENOVATION
A L'U.C.M.A. (OUED SMAR)

Proposé par :

E. P. T. V. C.

Etudié par :

D. HADJAZI

B. KHEZNADJI

Dirigé par :

Mme GASMI

Promotion : JUIN 1989

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DÉPARTEMENT : GENIE INDUSTRIEL

PROMOTEUR : Mme GASMI

ELEVES INGENIEURS : Mr D.HADJAZI
Mr B.KHEZNADJI

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

الموضوع : تنظيم عمليات التصليح بالوحدة مركزية
للصيانة للعمق بواحد السمار
للمتخصص :

حاولنا من خلال هذه الدراسة تصور نموذج تنظيمي
لعمليات تصليح الآفلات . وهذا بقصد تحسين
زمن التصليح وبالتالي فترة العطل.

SUJET : ORGANISATION DE L'EXECUTION D'UNE COMMANDE DE
RENOVATION A L'U.C.M.A (OUED SMAR)

RESUME : Cette étude consiste à organiser la rénovation
d'un véhicule par une méthode d'ordonnancement afin
de réduire sa durée de rénovation et partant son
taux d'immobilisation.

SUBJECT : DEVELOPMENT OF A PROCEDURE FOR VEHICLE
RENOVATION AT THE " U.C.M.A " (OUED SMAR)

ABSTRACT : The aim of this study is to develop a procedure
based on scheduling for controlling the process
of renovation and reducing the time of renovation.

R E M E R C I E M E N T S

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à Mme GASMI pour avoir accepté de diriger ce travail. Nous la remercions aussi pour les conseils éclairés qu'elle nous a prodigués.

Qu'il nous soit permis d'évoquer les intéressantes discussions que nous avons eu avec les ouvriers de l'U.C.M.A. Nos pensées vont en particulier à Mr HAMMOUDI directeur technique à l'E.P.T.V.C.

Que tous les Enseignants qui ont contribué à notre formation trouvent ici notre reconnaissance et nos plus vifs remerciements.

Nous remercions profondément Mr SARI, responsable du centre de calcul, pour son dévouement et sa présence permanente auprès de nous.

Nous ne saurons oublier tous ceux qui par leur amicale collaboration ont aidé à la progression de notre travail.

INTRODUCTION

Chapitre I : DESCRIPTION ET GENERALITE

1- Présentation de l'entreprise	
1-1 Mission de l'entreprise.....	2
1-2 différentes unités de l'entreprise.....	2
2- Organisation de la maintenance à l'E.P.T.V.C	
2-1 Organisation de la maintenance.....	2
2-2 Structure de la maintenance.....	3
3- Nécessité d'une unité centrale de maintenance	
4- Présentation de l'U.C.M.A	
4-1 Objectif de l'U.C.M.A.....	4
4-2 Répartition de l'atelier principal de l'U.C.M.A.....	4
5- Problèmes existants à l'entreprise	
5-1 Problème d'approvisionnement.....	10
5-2 Problème de manutention.....	10
5-3 Problème d'organisation.....	11

Chapitre II : PRINCIPES ET FORMULATION DES METHODES D'ORDONNANCEMENT

1-Qu'est-ce que l'ordonnancement ?.....	13
2-Les formes principales d'ordonnancement.....	12
3-Principe des méthodes d'ordonnancement.....	14
4-La méthode P.E.R.T	
4-1 Notion de bases.....	15
4-2 Conventions graphique d'établissement d'un réseau PERT.....	16
4-3 Réseau P.E.R.T.....	18
5-Méthode des potentiels	
5-1 Conventions graphiques d'établissement du réseau potentiel..	19
5-2 Ordonnancement des tâches.....	19
5-3 Introduction du temps.....	20
5-4 Contraintes totales-Contraintes relatives.....	21
5-5 Calcul des dates de début.....	21

5-6 Calcul des dates de fin.....	المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات22
5-7 Détermination du chemin critique.....	المكتبة22
5-8 Calcul des marges d'une tâche.....	المكتبة23



6- Calcul du délai de réalisation des travaux		
6-1 Estimation de la durée des tâches.....		2
6-2 Estimation de la durée d'un projet.....		2
7- Probabilité de respecter le délai d'un projet.....		2

Chapitre III : APPLICATION DE LA METHODE PERT-TACHE A LA RENOVIATION D'UN VEHICULE

1- Organisation des travaux de la rénovation d'un véhicule		
1-1 Identification des tâches à exécuter.....		2
1-2 Recherche des antériorités et ordonnancement.....		2
1-3 Ordonnancement des tâches par niveau.....		3
1-4 Estimation de la durée de mise en oeuvre des tâches.....		3
1-5 Traitement informatique.....		4
1-6 Calcul de probabilités de respecter un délai.....		4
2- Impact de la perturbation de la durée d'une tâche quelconque sur la durée finale des travaux de rénovation.....		4
2-1 perturbation sur la durée d'une tâche non critique.....		4
2-2 perturbation sur la durée d'une tâche critique.....		4
3-Répartition des ressources afin de respecter un délai fixé.....		4

CONCLUSION

ANNEXES

Annexe 1 Extention de la méthode PERT-TEMPS.....	5
Annexe 2 Distribution normale.....	5
Annexe 3 Listing du programme PERT.....	5
Annexe 4 Signification des variables utilisées dans le programme.....	6
Annexe 5.Algorithme de résolution par la méthode PERT.....	7

GLOSSAIRE

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

variable	Signification
DO	Date de début au plutôt
DA	Date de début au plutard
FA	Date de fin au plutôt
FO	Date de fin au plutard
ML	Marge libre d'une tâche
MT	Marge total d'une tâche
NOTCH	Numéro de la tâche
t_m	Durée moyenne de mise en oeuvre d'une tâche
σ	Incertitude sur la durée
t_M	Durée moyenne des travaux de rénovation
t_{mi}	Durée moyenne de la ième tâche critique
U	Facteur de probabilité $U \rightarrow N(0,1)$
t_o	Durée optimale d'une tâche
t_p	Durée pessimiste d'une tâche
t_r	Durée la plus probable

INTRODUCTION

Le transport est l'un des indicateurs du développement d'une économie. Il contribue grandement à la réalisation des plans de développement économique.

L'entreprise Publique de Transport des Voyageurs du Centre, utilise, pour accomplir sa mission, un parc roulant très important, lequel nécessite pour son bon fonctionnement, une maintenance appropriée. Ainsi, pour mener à bien sa mission, l'E.P.T.V.C utilise les infrastructures des différents centres d'exploitation et de son unité centrale de maintenance.

La réduction du taux d'immobilisation des véhicules faciliterait la tâche à l'entreprise dans l'accomplissement de sa mission. Elle ne pourrait se faire sans la maîtrise de l'organisation de la rénovation dans les ateliers de maintenance.

Ainsi, pour atteindre cet objectif, nous nous proposons d'utiliser une technique d'organisation pour une commande de rénovation. Dans une première partie, nous passerons en revue les différentes méthodes d'ordonnancement. Nous appliquerons dans une seconde partie une méthode d'ordonnancement à une commande de rénovation d'un véhicule. Enfin, nous tenterons de montrer comment, en qualité de gestionnaire ou de décideur, on peut respecter un délai fixé par le client ou convenu avec lui. Cela permettra à l'unité de contrôler l'exécution et surtout de respecter les délais impartis.

CHAPITRE 1 : DESCRIPTION ET GENERALITES

1-PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

Issue de la restructuration de la Société Nationale de Transport de Voyageurs (SNTV), l'Entreprise Publique de Transport de Voyageurs du Centre (EPTVC) poursuit au terme du décret n° 83.306 du 07/05/1983 le même objectif que l'entreprise mère, dans les limites géographiques du centre :

Alger, Médéa, Chlef, Blida, Tizi ouzou, Bouira, Boumerdès, Tipaza et Djelfa.

En outre, E.P.T.V.C assure les liaisons des chefs lieux des wilayas du centre avec les autres chefs lieux des wilayas du territoire national.

1-1 Missions de l'entreprise

L'entreprise est chargée d'accomplir les missions suivantes :

- assurer par route le transport public de voyageurs qui lui est confié dans le cadre de l'organisation des transports terrestres.
- Effectuer dans le cadre de conventions bilatérales tous les transports à caractère international.

1-2 Les différentes unités de l'entreprise

UNITE 10	TIZI-OUZOU	UNITE 15	BOUIRA
UNITE 11	BIRMOURAD-RAIS	UNITE 16	EL KHEMIS-MILIANA
UNITE 12	BLIDA	UNITE 17	HUSSEIN-DEY
UNITE 13	OUED-SMAR	UNITE 18	OUED-SMAR
UNITE 14	ROUIBA	UNITE 19	CHERCHELL

2- ORGANISATION DE LA MAINTENANCE A L'EPTVC

La fonction maintenance à L'EPTVC a pour but la tenue en état d'utilisation de l'ensemble des véhicules.

Elle a été confiée aux unités d'exploitation et à l'unité centrale de maintenance approfondie (UCMA) selon leur degré (niveau) d'intervention.

Les unités d'exploitation et l'UCMA ont pour mission d'assurer, au coût minimum, la maintenance du parc roulant de l'EPTVC

2-1 Organisation de la maintenance

La maintenance au sein de l'EPTVC, des véhicules et des organes est subdivisée en cinq niveaux d'intervention correspondant au degré de technicité des opérations :

Niveau 1 : Vérifications journalières des éléments permanents de fonctionnement du véhicule : niveau d'eau, de fluide de freins, pression des pneumatiques, etc...

Niveau 2 : Opérations d'entretien préventif du type graissage, vidange, vérifications courantes et petites opérations de dépannage : échange d'accessoires courants, échange des pneumatiques.

Niveau 3 : Interventions d'entretien préventif et curatif limitées aux opérations simples et aux échanges standards.

Niveau 4 : Opérations importantes d'entretien préventif et curatif

Niveau 5 : Rénovation des moteurs et organes.

La responsabilité des opérations d'entretien dépend de leur niveau.

Les opérations des niveaux 4 et 5 sont du ressort de l'unité centrale de maintenance approfondie.

Les opérations de niveau 1 sont effectuées par le chauffeur.

Les opérations de niveau 2 sont effectuées par les stations.

Les opérations de niveau 3 sont effectuées par les unités d'exploitation de l'E.P.T.V.C.

2-2 Structure de la maintenance :

Pour mettre en oeuvre la politique d'entretien que l'EPTVC s'est fixée, la fonction maintenance est confiée à une direction technique dotée d'ateliers spécialisés chargés d'assurer chacun un certain niveau d'intervention.

La direction technique comporte ainsi :

- des services techniques ayant pour mission d'assister et d'informer le directeur technique afin de préparer les décisions.
- dix (10) unités effectuant la maintenance jusqu'au niveau 3.
- une unité centrale chargée des travaux de maintenance des niveaux 4 et 5.

3- NECESSITE D'UNE UNITE CENTRALE DE MAINTENANCE

Gérer, maîtriser et contrôler un équipement n'est pas une tâche facile et sans maintenance il est très difficile de maîtriser un parc roulant (Equipement non statique) aussi important que celui de l'E.P.T.V.C.

C'est pourquoi a été créée l'Unité Centrale de Maintenance Approfondie (U.C.M.A).

4- PRESENTATION DE L'UNITE D'AFFECTATION (U.C.M.A)

Mise en exploitation depuis le 03/01/1987, l'unité centrale de maintenance approfondie est chargée de l'exécution des visites techniques des véhicules accidentés.

Elle prend en charge toute la flotte appartenant à

l'Entreprise Publique de transport de voyageurs répartie sur les dix (10) unités d'exploitation que compte l'E.P.T.V.C.

Elle assure aussi la rénovation de véhicules accidentés ou atteints de vétusté appartenant au secteur privé.

4-1 Objectif de l'U.C.M.A

L'objectif fixé par l'U.C.M.A est de porter la durée d'exploitation des véhicules de 08 à 15 ans ainsi qu'une réduction de l'achat des organes et des sous organes auprès des constructeurs étrangers. Elle assure par ailleurs à l'Entreprise une réduction des dépenses en devises, en garantissant un faible taux d'immobilisation de son parc roulant et en améliorant la qualité technique afin de fournir et d'assurer une meilleure prestation de service et une sécurité totale.

4-2 Répartition de l'atelier principal (U.C.M.A).

L'atelier principal de l'unité centrale est divisé en deux (02) grands ateliers: un atelier pour la rénovation d'organes moteurs (Ateliers rénovation organes) et un atelier pour la maintenance approfondie. Les deux grands ateliers (ARO et AMA) sont séparés par le magasin de stockage de pièces de rechanges.

4-2-1 Description de l'atelier de maintenance approfondie

Les principales tâches de l'atelier sont la rénovation et la révision des véhicules de l'E.P.T.V.C, du secteur privé et public (autre que l'E.P.T.V.C).

L'atelier de maintenance approfondie est réparti sur une superficie de 3725 m².

Il est divisé en deux ateliers :

- atelier carrosserie-tôlerie;
- atelier mécanique.

a/ Atelier carrosserie-tôlerie.

L'atelier peut contenir jusqu'à 24 véhicules de toutes marques. La principale tâche de l'atelier est de remettre en état le véhicule du point de vue tôle et carrosserie, réparation du planché et des sièges.

Les principales opérations exécutées par le tolier sont:

- le retapage de la carrosserie;
- le redressage de la tôle;
- l'ajustage des tôles;
- le démontage et rivetage des panneaux;
- le coupage en forme de panneaux;

Les principales opérations exécutées par le soudeur sont:

- soudage des manteaux (barres métalliques tenues verticalement et retenant la toiture);

-soudage des profilés,...

b/ Atelier mécanique:

L'atelier a pour rôle de réviser et remettre en état de fonctionnement le véhicule du point de vue mécanique, électrique et freinage.

L'atelier lui-même est subdivisé en deux sections: une section mécanique et une section freinage.

Les travaux de mécanique se font à la fosse. L'atelier comprend 08 fosses (une fosse ne peut pas contenir, à la fois, plus d'un véhicule) et un banc d'essai de freinage et de parallélisme.

c/ Atelier peinture:

La principale tâche de l'atelier est la peinture du véhicule.

4-2-2 Description de l'atelier rénovation organes :

La principale tâche de l'atelier est la rénovation et la remise au bon fonctionnement des moteurs et des organes défectueux .

L'atelier rénovation organes est réparti sur une superficie de 2923 m², il est divisé en plusieurs sections:

- section dégroupage lavage-inspection;
- section usinage;
- section transmission;
- section assemblage moteur;
- section préparation (métrologie);
- section station diesel;
- section pompe hydraulique;
- section pompe à eau et compresseur;
- section culasse;
- section freinage;
- section radiateur;
- section électrique.

a/ Section dégroupage-lavage:

a-1 Rôle: Elle est chargée du:

- dégroupage des moteurs et des organes défectueux;
- rejet des pièces défectueuses à 100 % (non récupérables);
- inspection des pièces à l'oeil nu;
- lavage d'organes à récupérer.

a-2 Aménagement:

La section dégroupage-lavage dispose de:

- 04 postes de dégroupage moteur;
- 02 postes de dégroupage boîte à vitesse;
- 02 postes de lavage.

a-3 Outillage:

L'outillage nécessaire pour un mécanicien-dégroupeur est représenté par un (01) coffret comprenant toutes sortes de clés.

a-4 Personnel :

L'effectif de cette section a été calculé en fonction des charges de l'atelier.

Comme le temps consacré au dégroupage du moteur est beaucoup plus important que celui consacré au lavage des organes récupérables, Il est donc nécessaire d'envisager beaucoup plus de postes (de personnels) de dégroupage que de postes de lavage, si non on aurait des postes de travail chargés faiblement, ce qui réduirait considérablement la productivité.

b/ Section usinage:

b-1 Rôle: La section usinage est chargée d'exécuter toutes les opérations d'usinage telles que: rectification, alésage, tournage, perçage,...

b-2 Equipement et personnel:

Un grand nombre d'équipements, que l'entreprise possède pour la bonne marche de sa mission (rénovation), sont regroupés à la section usinage.

Ainsi, la section usinage dispose de:

- deux (02) rectifieuses de vilebrequins;
- une (01) aléreuse de la ligne d'arbre;
- deux (02) aléreuse de bagues de bielles;
- une (01) aléreuse de soupape;
- une (01) rectifieuse de volant moteur;
- une (01) fraiseuse;
- deux (02) tours;
- une (01) surfaceuse de culasses et bloc-moteurs.

Du point de vue équipement et surface qu'elle occupe, la section usinage est considérée comme la plus importante dans l'atelier rénovation organes.

Exceptés les équipements, comme les rectifieuses de vilebrequin (02), aléreuse de bagues de bielles (02) et aléreuse de la ligne d'arbre (01), auxquels est affecté du personnel (un ouvrier par machine) fixe, les autres machines ne sont chargées que partiellement et ne nécessitent pas de spécialiste.

c/ Sections transmission:

Les tâches principales de la section transmission sont:

- la remise à niveau des boîtes de vitesses des différents types de véhicules (montage-réglage et essai);
- l'entretien du système d'embrayage à savoir volant, disque et train d'embrayage, plateau de pression, fourche levier et ressort de pulsion.

d/ Section métrologie:

Une fois les bloc-moteurs et les bielles arrivés à la section métrologie, on procède à la vérification et à la mesure de toutes les côtes ainsi qu' à l'alignement.

e/ Section pompe injection (station diesel).

e-1 Rôle: le travail de la présente section consiste à examiner, à remettre en état, à régler et à contrôler l'organe.

Les travaux effectués sur le matériel d'injection sont:

- le diagnostic établi sur le véhicule afin de déterminer si l'incident de fonctionnement est imputable aux organes d'injection;
- le dépôt des éléments incriminés;
- le démontage des organes d'un ensemble (outillage spécialisé);
- l'examen minutieux de l'état des pièces;
- le remontage et préréglage suivant les données des constructeurs;
- le réglage définitif sur banc d'essai.

e-3 Aménagement:

- trois (03) bancs d'essai mécaniques qui permette le réglage des injections avec ou sans régulateurs;
- un appareil pour le tarage et le contrôle de tous les types d'injecteurs;
- un bac de nettoyage et des étagères pour le stockage.

e-4 Personnel:

Le temps alloué pour rénover une pompe d'injection est de 04 heures, le temps ouvrable par jour étant de 08 heures.

Quatre (04) ouvriers qualifiés travaillent dans cette section.

f/ Section culasse:

f-1 Rôle Les principales tâches de la présente section consistent à:

- roder les soupapes d'admission et d'échappement;
- rénover éventuellement la culasse;
- rectifier les soupapes et sièges soupapes;
- tester et vérifier l'étanchéité des culasses.

La rectifieuse de soupapes et le banc pour contrôler l'étanchéité des culasses étant implantés à la section usinage, l'ouvrier est obligé de se déplacer, chaque fois qu'il est nécessaire de rectifier les soupapes ou de tester l'étanchéité, à la section usinage.

Ceci implique beaucoup de déplacement de l'ouvrier et autant de perte de temps.

Le nombre d'ouvriers travaillant dans la section culasse est égal au nombre de 04.

L'outillage principal utilisé se compose quatre (04) rodeuses de soupapes.

g/ Section pompe de direction.

g-1 Rôle : Elle est chargée de :

- remettre en état de fonctionnement la pompe hydraulique (démontage de la pompe, diagnostic, remplacement des éléments défectueux, remontage et contrôle);
- vérifier le bon fonctionnement de la pompe sur un banc d'essai.

g-2 Aménagement:

Un (01) banc d'essai permet le contrôle du bon fonctionnement de la pompe.

g-3 Personnel.

Le temps alloué pour réviser ou rénover une pompe de direction ne dépasse pas l'heure.

Un seul ouvrier travaille dans cette section.

h/ Section pompe à eau et compresseur:

h-1 Rôle:

- rénovation et contrôle de la pompe à eau et compresseur;
- démontage de la pompe et du compresseur;
- diagnostic;
- remplacement des éléments défectueux par des éléments neufs;
- remontage et contrôle.

h-2 Equipement et personnel.

Le nombre d'ouvriers travaillant dans la section s'élève à trois.

Les tâches exécutées par les ouvriers de la présente section se font manuellement.

L'outillage utilisé dans l'exécution des travaux n'est représenté que par de simples clés.

i/ Section radiateur.

i-1 Rôle: Elle est chargée de rénover et de contrôler les radiateurs. La rénovation du radiateur suit le cycle suivant:

déssouder --> détartre --> souder --> contrôler --> peindre.

i-2 Aménagement et équipement:

L'outillage et l'équipement nécessaires pour la bonne marche des travaux de rénovation des radiateurs sont:

- une table;
- une alimentation en eau sous pression pour le lavage et la vérification des fuites;
- un poste de soudage.

Deux (02) ouvriers travaillent dans la section.

j/ Section électrique:

j-1 Rôle: Elle s'occupe de la rénovation des appareils électriques tels que le démarreur, l'alternateur et leur bobinage.

j-2 Equipement et personnel:

Les équipements utilisés pour la bonne marche de la rénovation des appareils électriques sont:

- machine de bobinage;
- appareil de contrôle de la résistance des bobinages;
- fer à souder;
- outillage spécial et spécifique aux différents appareils à rénover;
- trois (03) bancs d'essai.

Au total 08 ouvriers travaillent dans cette section, quatre sont chargés du bobinage et les quatre autres sont chargés de la rénovation proprement dite des appareils électriques ainsi que du contrôle sur banc d'essai.

k/ Section freinage:

Elle est chargée principalement de la rectification de tambours de freins.

La rectification de tambours de freins nécessite une rectifieuse et un dispositif de manutention pour procéder à la mise en place du tambour sur la rectifieuse.

Vu que le poste est très faiblement chargé et que le temps-machine est nettement supérieur au temps-homme, il n'est pas prévu de travailleur permanent. En d'autres termes, s'il y a lieu de rectifier un tambour de frein le chef de service production affecte un ouvrier qualifié à ce poste.

l/ Section assemblage.

Elle se charge du montage et assemblage des moteurs. Tous les organes et pièces nécessaires au moteur convergent à ce poste pour être assemblés.

Ils proviennent des sections (pour les organes rénovés) et du magasin (pour les organes neufs).

Dix motoristes travaillent à cette section.

Le temps alloué pour assembler un moteur est de 24 heures. Chaque poste dispose de son propre outillage à savoir une armoire complète contenant toutes sortes de clés; il dispose également d'une table sur laquelle est déposé et monté le moteur. L'assemblage se fait bien sûr manuellement.

m/ Section contrôle

Elle est chargée de l'essai et du contrôle du moteur.

Il existe trois bancs d'essai, spécialisé chacun pour un certain type de moteurs. Le premier pour les moteurs horizontaux (MAN), le second pour les moteurs en "V" (S.N.V.I, Mercedes) et enfin le troisième, spécialisé pour les moteurs verticaux (Scania).

Chaque banc comprend un dispositif de refroidissement, d'échappement et d'un moteur électrique nécessaires à la mise en route du moteur.

Les trois bancs d'essai disposent d'un réservoir collectif de gasoil installé à l'extérieur des ateliers.

En plus des trois bancs d'essai, la section dispose d'une cabine de contrôle avec un tableau de bord pour chaque banc. On y contrôle la température du moteur, la vitesse de rotation du moteur, la viscosité, la température d'eau et d'huile, ...

Trois ouvriers se chargent du contrôle, de l'essai et du réglage du moteur en cas de problème. Un opérateur utilisant un chariot élévateur se charge de la manutention du moteur sur le banc d'essai et des autres manutentions dans l'atelier.

5-PROBLEMES EXISTANTS A L'ENTREPRISE

5-1-Problèmes d'approvisionnement

L'U.C.M.A connaît des problèmes d'approvisionnement en pièces de rechange.

Ainsi, pour mener à bien la rénovation des véhicules, l'unité procède à la récupération des pièces et organes sur des véhicules déclarés "réformés". La récupération des organes sur les véhicules réformés ne résoud que partiellement le problème de la " pièce de rechange ". Elle engendre l'accroissement du délai de rénovation et du coût de la main d'oeuvre.

5-2-Problèmes de manutention

En plus des problèmes d'approvisionnement, l'entreprise connaît des problèmes de manutention des organes lourds tels que bloc-moteur, vilbrequin, etc ...

Les postes qui souffrent le plus du problème de manutention

sont les postes démontage , assemblage moteur et banc d'essai.
Le problème de manutention allonge le délai d'exécution, augmente le coût de rénovation et réduit considérablement la productivité du travail.

5-3-Problèmes d'organisation

L'unité est subdivisée en deux départements, s'occupant chacun des fonctions de son atelier .

Chaque département dispose en principe d'un service de production et d'un service technique comprenant :

- un bureau d'ordonnancement,
- un bureau de prix de revient et statistique,
- un bureau de réception et contrôle.

L'ordonnancement et le lancement des opérations se font, aléatoirement et au jour le jour, par le chef de service de production ou par le chef de département. C'est pourquoi l'exécution de la rénovation est souvent interrompue par manque de préparation, engendrant ainsi un encours pour une assez longue période.

Néanmoins, le bureau d'ordonnancement des travaux de rénovation des véhicules n'a pas réglé les problèmes.

Généralement, le lancement des travaux de rénovation se fait sans préparation. " L'agent d'ordonnancement " ne fait que constater l'état d'avancement des travaux et n'entreprend aucune action pour régler un problème surgi en cours d'exécution des travaux (Allongement de la durée d'une tâche par exemple).

Pour essayer de surmonter ce type de problèmes, nous allons appliquer une méthode d'ordonnancement dont la formulation et le principe seront développés au chapitre 2.

CHAPITRE 2

PRINCIPE ET FORMULATION DES METHODES D'ORDONNANCEMENT

1-QU'EST-CE QUE L'ORDONNANCEMENT ?

"L'ordonnancement est défini comme étant le déclenchement d'une commande à travers les différents services de fabrication depuis sa mise en oeuvre jusqu'à l'expédition au client " (1).

Les techniques d'ordonnancement permettent de calculer ou d'évaluer les délais et les coûts d'exécution des réalisations importantes telles que les constructions de grands ensembles, les fabrications de prototypes mettant en jeu un grand nombre d'opérations de durées pouvant avoir un caractère aléatoire pour certaines d'entre-elles.

Les exigences techniques, financières et sociales nécessitent une coordination très étudiée de l'ensemble des moyens à mettre en oeuvre: personnel, matériel, capital, etc ...

La fonction ordonnancement permet :

- d'enclencher les interventions;
- coordonner aux mieux les tâches;
- de déterminer le meilleur délai et un coût minimum de réalisation.

2-LES FORMES PRINCIPALES D'ORDONNANCEMENT

Les orientations de l'ordonnancement dépendent étroitement du type de fabrication. On distingue ainsi 3 formes de base :

- l'ordonnancement des productions du type "PROCESSUS" -cas des raffineries et des cimenteries- où la conception même des procédés de fabrication intègre la fonction ordonnancement.

- l'ordonnancement des postes de charge, mis en oeuvre dans les productions du type "MASSE" (grande série); il s'agit d'un mode d'ordonnancement fréquemment rencontré dans les industries de transformation.

- l'ordonnancement des projets ou produits uniques, qui est centré sur l'enclenchement et la coordination des multiples tâches concourant à la réalisation d'un ensemble, la construction d'un ouvrage ou la rénovation d'un véhicule par exemple; ce cas relève des méthodes PERT, CPS, CPM, et POTENTIELS. (2)

1- Larousse dictionnaire 1980

2- CPS : Critical Path Scheduling, CPM : Critical Path Method

Toutes ces méthodes ont en commun la recherche du chemin critique. celui-ci est formé d'une succession de tâches critiques pour lesquelles tout retard apporté au niveau de l'exécution entraîne un retard équivalent quant à la réalisation du projet.

Le chemin critique est une chaîne d'activités, c'est le chemin le plus long (il peut ne pas être unique), ne passe pas nécessairement par tous les sommets, mais qui donne la durée minimale du projet.

3-PRINCIPE DES METHODES D'ORDONNANCEMENT

Le principe de ces méthodes est de :

- dresser un ordonnancement dès que les différentes contraintes introduites dans le problème ont été rendues compatibles;

- déterminer le meilleur temps nécessaire à la réalisation de l'ensemble des travaux;

- localiser les tâches ou les étapes critiques, c'est-à-dire celles qui ne peuvent être ni retardées, ni ralenties, sans que la fin des travaux soit décalée du temps correspondant.

4-LA METHODE PERT

La méthode PERT (Program Evaluation and Review Technic), appelée méthode du ' chemin critique ' a été élaborée et appliquée pour la première fois aux Etats unies pour la fabrication des fusées Polaris. Elle a permis de gagner une proportion considérable dans le délai d'exécution (réduction de 2 années du délai initialement prévu).

Adaptée à l'ordonnancement de fabrication d'un produit complexe, elle utilise les graphes ou réseaux maillés pour représenter l'enclenchement des opérations.

L'avantage de cette représentation provient de l'indépendance entre les durées d'exécution et la longueur des arcs.

Le graphe ne représente que la succession logique des opérations et on n'a pas besoin de connaître les durées des opérations pour sa construction, alors que les graphes d'ordonnancement classique du type GANTT sont liés au temps et ne peuvent en aucun cas être élaborés en ignorant les durées des opérations

4-1 Notions de base de la théorie des graphes

4-1-1 Définition d'un graphe [2]

Un graphe est un ensemble de points appelés sommets reliés entre eux.

Les liaisons sont appelées :

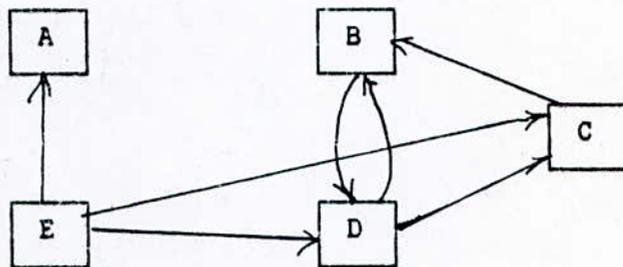
- arcs, si elles sont orientées;
- arêtes, si elles ne sont pas orientées.

4-1-2 Représentation d'un graphe

On peut représenter un graphe de deux façons différentes :

a- Représentation classique dite "Sagittale"

Exemple:



b- Représentation matricielle

Un graphe peut être représenté sous forme matricielle. L'existence d'une liaison entre deux sommets est représentée, sous forme matricielle, par 1 et l'absence de liaisons par 0. La matrice représentant le graphe est ainsi formée uniquement de 0 et 1.

4-1-3 Définition d'un chemin [2]

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

4-1-4 Définition d'un circuit [3]

Un chemin est un circuit fermé sur lui même.

4-2 Conventions graphiques d'établissement du réseau PERT

4-2-1 Définition de la tâche [5]

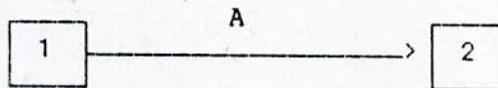
Une tâche est un travail à accomplir, c'est-à-dire une opération, un contrôle, un transport ou une attente. Toutefois, l'attente ne consomme que du temps. Dans la méthode PERT, elle est représentée par un arc; la longueur de l'arc étant indifférente et indépendante de la durée d'exécution de la tâche. Elle est généralement désignée par une lettre; Le repérage se fait par les numéros des cercles au début et à la fin de l'activité.

Toutefois un arc peut représenter un ensemble plus ou moins complexe d'activités.

4-2-2 Définition d'une étape: [5]

Une étape est un instant qui correspond au début ou/et à la fin d'une tâche ou de plusieurs tâches. Dans le réseau PERT, l'étape est représentée par un sommet.

Exemple :



Une tâche désignée par la lettre A, dans le réseau PERT, est représentée par la figure ci-dessus. Elle est située entre l'étape 1 (début de la tâche A) et l'étape 2 (fin de la tâche A). Une étape ne consomme ni durée, ni ressources.

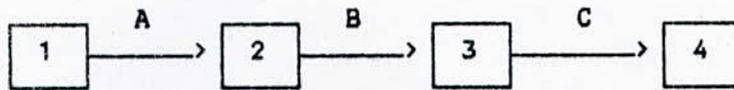
La construction d'un réseau PERT, doit obéir à certaines conventions fondamentales, le réseau doit être :

- fini, c'est-à-dire comprenant un nombre déterminé de sommets qui en fixe l'ordre;
- orienté, du fait du sens "gauche-droite" des arcs;
- antisymétrique, du fait de la présence d'un arc et un seul reliant deux sommets adjacents;
- sans circuit, ni boucle;
- constitué au moins :
 - . d'un sommet sans arcs incidents (racine ou début);
 - . d'un sommet sans arcs excidents (finalité ou but).

4-2-3 Positions relatives des tâches et des étapes :

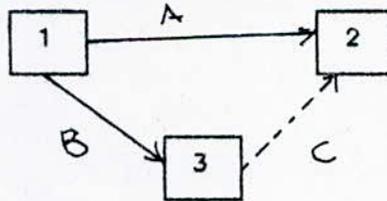
Sur le graphe, les tâches peuvent être agencées selon des schémas de types : série, parallèle, ...

Des tâches A, B, ET C devant être exécutées successivement sont en série ; elles sont représentées, dans le réseau PERT, par :



chacune des tâches est située entre deux étapes.

Les tâches A et B devant être exécutées simultanément sont en parallèle. En principe, elles doivent avoir la même étape de début et la même étape de fin, mais comme entre deux étapes on ne peut avoir qu'une seule tâche on est conduit à introduire une tâche fictive de durée nulle et une étape supplémentaire



4-3-Réseau PERT

Le réseau PERT est un graphe qui traduit schématiquement l'exécution complète d'un travail.

Les arcs du graphe représentent les tâches composant l'ouvrage. Ces arcs sont groupés entre eux selon les schémas élémentaires des principes précédents afin de traduire les liaisons et l'ordonnancement des tâches.

Exemple : construction d'un réseau PERT

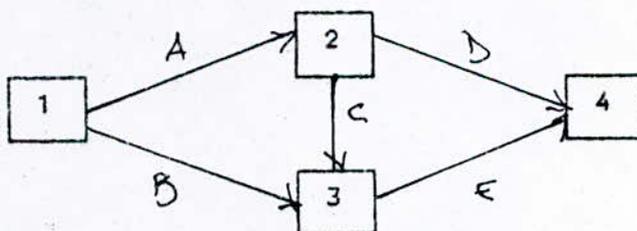
Soit à exécuter un travail quelconque composé de 5 tâches élémentaires désignées par A, B, C, D, et E.

A et B étant des tâches initiales, D et E étant des tâches finales. La tâche D ne peut commencer avant la fin de la tâche A.

La tâche E ne peut commencer avant la fin des tâches B et C. Pour mieux illustrer on dresse un tableau à deux colonnes dans la première on figure toutes les opérations et dans la seconde on reporte les opérations antécédantes à chaque opération.

tâches	tâches ancêtres ou précédentes
A	-
B	-
C	A
D	A
E	B, C

Le réseau PERT traduisant l'enchaînement de ces tâches est représenté par :



Ainsi, sans connaître les durées d'exécution des différentes tâches, la représentation du réseau PERT est rendue possible.

5- METHODE DES POTENTIELS TACHES

La méthode des POTENTIELS-TACHES, parfois appelée "méthode PERT-TACHE" est aussi adaptée à l'ordonnancement de fabrication d'un produit unitaire complexe.

Elle a été développée en France par B.ROY à l'occasion de la construction du paquebot France. Elle utilise, également, les réseaux pour représenter l'enclenchement et la succession logique des opérations pour l'accomplissement d'une réalisation.

5-1 Conventions graphiques d'établissement du réseau POTENTIEL :

5-1-1 Représentation d'une tâche dans le réseau POTENTIEL :

Une tâche, dans le réseau potentiel, est représentée par un sommet. Une tâche fictive n'existe pas dans la représentation du potentiel.

5-1-2 Dépendance intéropératoire:

La relation de dépendance existante entre deux sommets (tâches), appelée contrainte, est représentée dans le réseau potentiel par un arc.

5-2 Ordonnancement des tâches :

Illustrons la manière d'ordonner les tâches d'un réseau par un exemple. Soit à exécuter un travail comprenant 7 tâches élémentaires désignées par A, B, C, E, F, et G.

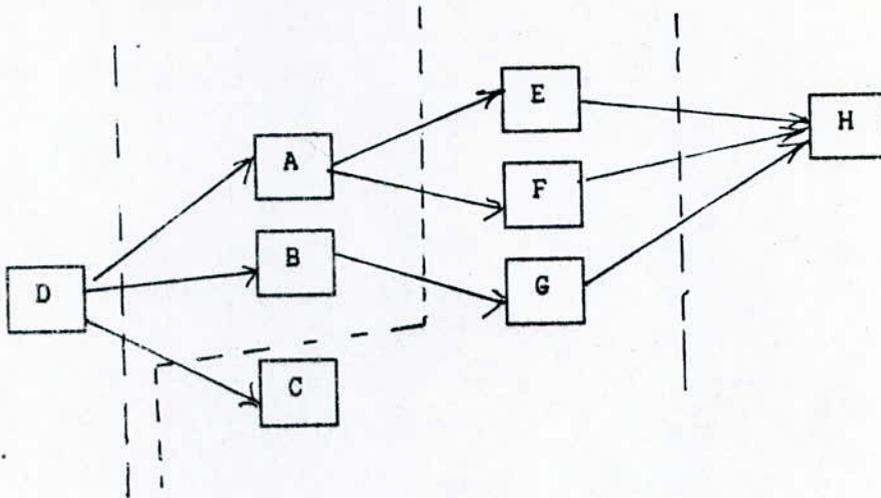
tâches	tâches ancêtre ou précédentes
D	-
A	D
B	D,B
C	D
E	A
F	A
G	B
H	E,F,G

Procédons à l'ordonnancement par suppression des ancêtres, cela nous permettra de construire plus facilement le graphe.

Le sommet D n'a pas d'ancêtre. Par définition il forme le premier niveau. On supprime les tâches antérieures du sommet D, les sommets A et B, à cette phase, n'ont pas d'ancêtres. Ils forment le deuxième niveau du graphe. On supprime les tâches

antérieures des sommets, qui n'ont pas d'ancêtres, A et B, on voit alors que E, F, G, et C n'ont plus d'ancêtres et qu'ils constituent le troisième niveau du graphe et ainsi de suite.

Le réseau potentiel associé à l'exécution de ce travail est défini comme suit :



5-3 Introduction du temps :

Pour que la méthode permette de Déterminer le meilleur délai d'exécution, il est nécessaire d'introduire le temps :

- pour l'ensemble des sommets "Débuts d'activité";
- pour l'ensemble des arcs "Relations de dépendance".

5-3-1 Application aux sommets:

Une activité comprend deux points :

- un point de départ ou début;
- un point de terminaison ou fin.

Le temps affecté à un sommet S est la durée d'exécution D_s s'écoulant entre le début et la fin de la tâche désignée par S.

5-3-2 Application aux arcs :

Un arc, comme on l'a déjà défini dans le réseau potentiel, représente la relation de dépendance existant entre deux sommets.

Le temps affecté à un arc définit une contrainte mesurant le temps qui doit s'écouler entre le début de la tâche ascendante et le début de la tâche descendante.

Durée d'exécution de la tâche et contrainte sont deux notions distinctes. La première réunit deux points d'une même activité, la seconde réunit deux points de deux tâches différentes; sa valeur peut être influencée par des phénomènes extérieurs indépendamment des activités ancêtres.

Exemple :

Bien que la tâche "peinture" soit terminée, la tâche descendante ne peut débuter avant le séchage de la peinture. Le temps qui s'écoule entre la fin de la tâche "peinture" et le début de la tâche suivante constitue la contrainte.

5-4 Contrainte totale - Contrainte relative : [3]

Une contrainte totale reliant l'activité ascendante i et l'activité descendante j est définie comme étant la somme de la durée de l'activité ascendante (D_i) et de la durée d'un événement extérieur (D_e).

$$i(CT)j = D_i + D_e$$

La contrainte totale $i(CT)j$ mesure le temps qui s'écoule entre le début de l'activité i et le début de l'activité j .

Contrainte relative : $i(CR)j$ [3]

La contrainte relative $i(CR)j$ mesure le temps qui s'écoule entre la fin de l'activité i et le début de l'activité j .

Elle est définie par :

$$i(CR)j = i(CT)j - D_i$$

5-5 Calcul des dates de début :

- Au plus tôt (D_0):

On convient de prendre la date de début au plus tôt de la tâche initiale égale à zéro (D_0) $1 = 0$

La date de début de l'activité j est donnée par :

$$(DO)_j = \max \{ (DO)_i + i(CT)_j \} \text{ quelque soit } i \in \Gamma_j$$

Γ_j : Ensemble de sommets (tâche) ascendant à la tâche j

- Au plus tard (DA) :

$(DA)_f = (DO)_f$, le début au plus tard de la tâche finale est égale au début au plus tôt de la tâche finale.

La date de début au plus tard de l'activité j est donnée par
 $(DA)_j = \min \{ (DA)_k - j(CT)_k \}$ quelque soit $k \in \Gamma_j$.

Γ_j : Ensemble de sommets (tâche) descendant de la tâche j.

5-6 Calcul des dates de fin :

- Au plus tôt (FO):

La date de fin au plus tôt est la date de début au plus tôt augmentée de la durée de l'activité.

$$(FO)_j = (DO)_j + D_j$$

-Au plus tard (FA) :

$$(FA)_j = (DA)_j + D_j$$

5-7 Détermination du chemin critique :

Définition [2] :

Un chemin critique d'un graphe est le plus long chemin qui joint l'entrée du graphe à sa sortie. Les tâches appartenant à ce chemin critique sont dites critiques. Ainsi une tâche est dite critique si sa date de début au plus tôt coïncide avec sa date de début au plus tard et si sa date de fin au plus tôt coïncide avec sa date de fin au plus tard.

$$(I) \quad \left\{ \begin{array}{l} (DO)_i = (DA)_i \\ (FO)_i = (FA)_i \end{array} \right.$$

5-8 Calcul des marges d'une tâche :

5-8-1 Définition de la marge d'une tâche : [3]

La marge d'une tâche est la différence entre le temps dont on dispose pour effectuer cette tâche et sa durée de mise en oeuvre.

a- Marge totale d'une tâche (MT)_j :

Elle est définie par la différence de potentiels de début ou de fin tard - tôt :

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

La marge totale est le retard maximum que l'on peut prendre sur la réalisation d'une tâche sans perturber le délai d'exécution des travaux.

D'après (I), on conclut que la marge totale d'une tâche critique est nulle.

b- Marge libre d'une tâche (ML)_j :

Elle est définie par :

$$(ML)_j = \min \{ (DO)_k - (DO)_j - j(CT)_k \} \text{ quelque soit } k \in \Gamma_j$$

Γ_j : Ensemble des descendants directs de la tâche j.

La marge libre correspond au retard maximum que l'on peut prendre dans l'exécution d'une tâche sans perturber les débuts au plus tôt des tâches qui la suivent (descendants directs).

6-CALCUL DU DELAI DE REALISATION DES TRAVAUX

6-1 Estimation de la durée des tâches :

Le réseau PERT (ou Potentiel) tel qu'établi sur les enclenchements des tâches ne met nullement à contribution les durées de mise en oeuvre de ces tâches, c'est l'un des avantages essentiels d'un réseau. Les durées des activités sont en général parfaitement déterminées; toutefois, il arrive que la durée de certaines opérations soit aléatoire. Pour apprécier l'importance de l'incertitude relative à la durée de mise en oeuvre d'une tâche, on considère généralement trois estimations de durées :

-une durée optimiste (t_0);

- une durée pessimiste (tp);
- une durée la plus vraisemblable (tr).

to: La durée optimiste étant la plus courte de toutes celles qui permettraient d'exécuter la tâche, elle se réalise dans les conditions les plus favorables.

tp: La durée pessimiste étant la plus longue de toutes celles qui permettraient d'exécuter la tâche, elle se réalise dans les conditions les plus défavorables.

tr: La durée la plus probable est celle qui serait la plus fréquente si l'on recommençait souvent la tâche dans des conditions identiques.

Si on veut approximer les données empiriques avec une fonction de distribution théorique les caractéristiques désirables quand veut avoir doivent vérifier les conditions suivantes :

- 1-ne doit pas être nécessairement symétrique;
- 2-doit avoir un seul maximum;
- 3-doit avoir un nombre fini et positif de points extrêmes.

Comme la loi normale, utilisée souvent en pratique, ne satisfait pas les deux dernières conditions les créateurs de PERT ont trouvé que la loi de distribution BETA vérifie les trois critères et peut être utilisée d'une façon satisfaisante pour estimer la durée des tâches.

L'estimation de la durée d'une tâche est donnée par:

$$t_m = \frac{t_o + 4t_r + t_p}{6}$$

L'écart-type est :

$$\sigma = \frac{t_p - t_o}{6}$$

Farmun et Stanton ont montré que l'approximation n'est pas très précise lorsque " tr " n'appartient pas à l'intervalle I:

$$I = [t_o + 0.13 (t_p - t_o), \quad t_o + 0.87 (t_p - t_o)]$$

Si la durée la plus probable (tr) n'appartient pas à I, une erreur allant jusqu'à un taux de 33% sur l'estimation peut être engendrée.[1]

6-2 Estimation de la durée d'un projet :

Un projet (une fabrication) composé d'un ensemble de tâches est dit achevé si la dernière tâche est entièrement accomplie.

Ainsi, le délai de réalisation de l'ensemble des tâches est donné par la date de fin de la tâche finale, il correspond à la durée du chemin critique, formé de tâche "en série".

Dans le cas où n tâches sont en séries, la durée moyenne de l'ensemble des travaux d'une commande est :

$$t_M = \sum_{i=1}^n t_{mi}$$

avec t_{mi} : durée moyenne de la i ème tâche critique.

La variance de la durée finale est donnée par la somme des variances des durées de mise en oeuvre des tâches critiques, soit :

$$V = \sum v_i$$

son écart-type est :

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}$$

σ_i : écart-type de la durée de la tâche critique i .

7-PROBABILITE DE RESPECTER LE DELAI D :

On suppose la distribution de la durée finale de l'exécution des travaux normale et que les durées des tâches sont des variables aléatoires indépendantes.

soit t : durée finale de l'exécution des travaux.

$$t \longrightarrow N(t_M, \sigma)$$

avec t_{mi} : durée moyenne de la i ème tâche critique.

$$U = \frac{t - tM}{\sigma} \rightarrow N(0, 1)$$

$$P(t < tM) = P\left(\frac{t - tM}{\sigma} \leq \frac{tM - tM}{\sigma}\right) = P\left(\frac{t - tM}{\sigma} \leq 0\right)$$

$$P(U \leq 0) = 0.5$$

Ainsi, la probabilité que les travaux soient achevés au plus tard à la date D est donnée par :

$$P(t \leq D) = P\left(\frac{t - tM}{\sigma} \leq \frac{D - tM}{\sigma}\right) = P\left(U \leq \frac{D - tM}{\sigma}\right)$$

L'usage d'une table relative à la loi normale permettra de calculer la probabilité de respecter un certain délai (voir annexe 2).

En raison des similitudes que présentent ces deux méthodes quant au nombre d'avantages et d'inconvénients, nous avons choisi d'appliquer la méthode PERT-TACHE.

CHAPITRE 3

APPLICATION DE LA METHODE PERT-TACHE A LA RENOVATION D'UN
VEHICULE

En raison du nombre important des tâches et de la durée des opérations des travaux de rénovation d'un véhicule, il est indispensable de coordonner à l'avance l'ensemble des opérations en utilisant une méthode d'ordonnement.

1- ORGANISATION DES TRAVAUX DE LA RENOVATION D'UN VEHICULE

Le but recherché est l'organisation des travaux de la rénovation des véhicules. On utilise pour cela la méthode PERT-TACHE.

Ainsi, pour déterminer la durée moyenne optimale de la rénovation d'un véhicule nous devons procéder à :

- l'identification des tâches;
- la recherche des antériorités;
- l'ordonnement des tâches par niveau;
- l'estimation des durées des différentes tâches à exécuter;
- la résolution du programme de rénovation par la méthode PERT-TACHE.

1.1 Identification des tâches à exécuter

Il s'agit dans cette première phase de procéder à un inventaire détaillé de toutes les tâches indispensables à la "rénovation d'un moteur et d'un véhicule". Cet inventaire a été réalisé en collaboration avec les chefs de service de production et de département. Les tâches identifiées sont regroupées dans les tableaux n°1 pour le moteur et n°2 pour le véhicule.

tâche	numéro de la tâche	désignation de la tâche
P	1	-Attente
A	2	-Démontage
B	3	-Lavage
Q	4	-Attente
D	5	-Préparation bielles
È	6	-Rectification vilbrequin
H	7	-Surfaçage volant moteur
I	8	-Rénovation pompe injection et injecteurs
J	9	-Rodage culasse
K	10	-Rénovation pompe à eau et compresseur
L	11	-Rénovation pompe hydraulique
C	12	-Préparation bloc
F	13	-Alésage bagues de bielles
G	14	-Alésage ligne d'arbre
M	15	-Assemblage
R	16	-Attente
N	17	-Essai sur banc
O	18	-Peinture
TOP	19	—

tableau n°1 : Liste des tâches obtenues pour la rénovation d'un moteur

tâche	numéro de la tâche	désignation de la tâche
A	1	-démontage panneaux rouillés
B	2	-démontage moteur,boite vitesse et accessoires
C	3	-démontage des panneaux non rouillés
D	4	-redressage des panneaux non rouillés
E	5	-préparation des panneaux et profilés
G	6	-démontage planché
H	7	-préparation sièges
I	8	-confection planché
K	9	-soudage mantons et profilés montage panneaux
J	10	-rénovation moteur
L	11	-assemblage moteur et boite vitesse
M	12	-mise en place planché
N	13	-collage du Gerflex sur le planché
O	14	-montage moteur, boite vitesse et accessoires
P	15	-montage des sièges
Q	16	-vérification de la suspension hydraulique et pneumatique
R	17	-vérification des fuites d'air et d'huile
S	18	-lavage et peinture
TOP	19	—

tableau n° 2 : Liste des tâches obtenues pour la rénovation d'un véhicule

1.2 Recherche des antériorités

Après avoir dressé la liste des tâches à effectuer, nous avons procédé, à la recherche des antériorités de toutes les tâches. Il suffisait pour cela de demander, à une personne qualifiée pour chaque opération, la ou les tâches se trouvant avant ou après celle qui va être exécutée. Parmi les tâches antérieures à une tâche donnée, certaines sont convergentes, d'autres successives, c'est pourquoi il est indispensable de déterminer les tâches immédiatement antérieures à chaque tâche.

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux n°3 pour le véhicule et n°4 pour le moteur

tâche	tâches immédiatement antérieures
A	-
B	-
C	-
D	A
E	A
G	C
H	C
I	G
K	D, E
J	B
L	J
M	I
N	H, M
O	K, L
P	N, O
Q	O
R	O
S	Q, R
TOP	S

tableau n°3

tâche	tâches immédiatement antérieures
P	-
A	P
B	A
Q	B
D	B
E	B
H	B
I	B
J	B
K	B
L	B
C	Q
F	D
G	C
M	E, F, G, H, I, J, K, L
R	M
N	R
O	N
TOP	O

tableau n°4

1.3 Ordonnancement des tâches par niveau

L'ordonnancement des tâches par niveau facilite le suivi, le contrôle des opérations et permet de tracer plus facilement le réseau.

1.3.1 Construction d'un tableau

Dressons un tableau à double entrée (matrice) sur lequel apparaît en abscisse et en ordonnée l'ensemble des tâches. Dans ce tableau, l'existence de lien entre deux tâches est traduite par 1, l'absence par 0.

La matrice traduit alors la relation d'ordre : Les tâches de la colonne de gauche sont immédiatement antérieures aux tâches marquées par un 1 dans la colonne correspondante de la ligne du haut.

Inscrivons des 1 sur la diagonale principale de la matrice associée au graphe bien que chacune des tâches ne pouvant être antérieure à elle même.

1.3.2 Fonctionnement du tableau

L'ensemble des tâches pour la rénovation du véhicule étant de cardinal 19, sur une 20^{ième} ligne faisons la somme des coefficients inscrits dans chaque colonne. Cette ligne donne pour chaque tâche le nombre de ses prédécesseurs.

Les tâches pour lesquelles cette somme est 1 (A,B,C) n'ont pas d'ascendants, ce sont les tâches de niveaux 1.

Isolons ces tâches de leurs descendants; pour cela retranchons à la ligne 20 les coefficients se trouvant aux lignes A, B, et C, ce qui donne la ligne 21 sur laquelle les tâches retenues au niveau 1 sont repérées par un 0, celles à retenir pour le niveau 2 étant désignées par un 1 (D, E, G, H et J).

Isolons les tâches D, E, G, H et J de leurs descendants, comme nous venons de l'indiquer, on obtiendra les tâches du niveau 3 (I, K, et L) et ainsi de suite. Nous obtenons ainsi le tableau de la figure 1. En procédant de même pour le moteur, on aboutit au tableau de la figure 2

A B C D E G H I K J L M N O P Q R S TOP

A	1			1	1														
B		1								1									
C			1			1	1												
D				1						1									
E					1					1									
G						1		1											
H							1							1					
I								1				1							
K									1						1				
J										1	1								
L											1				1				
M												1	1						
N													1		1				
O														1	1	1	1		
P															1				1
Q																1		1	
R																	1	1	
S																		1	1
TOP																			1
A,B,C	1	1	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	3	3	2	2	3	3
D,E,G	0	0	0	1	1	1	1	2	3	1	2	2	3	3	3	2	2	3	3
H,J																			
I,K,L	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	2	2	3	3	2	2	3	3
M,O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	3	2	2	3	3
N,R,Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	1	3	3
P,S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3
TOP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

figure1: Matrice du niveau des tâches pour la rénovation d'un véhicule

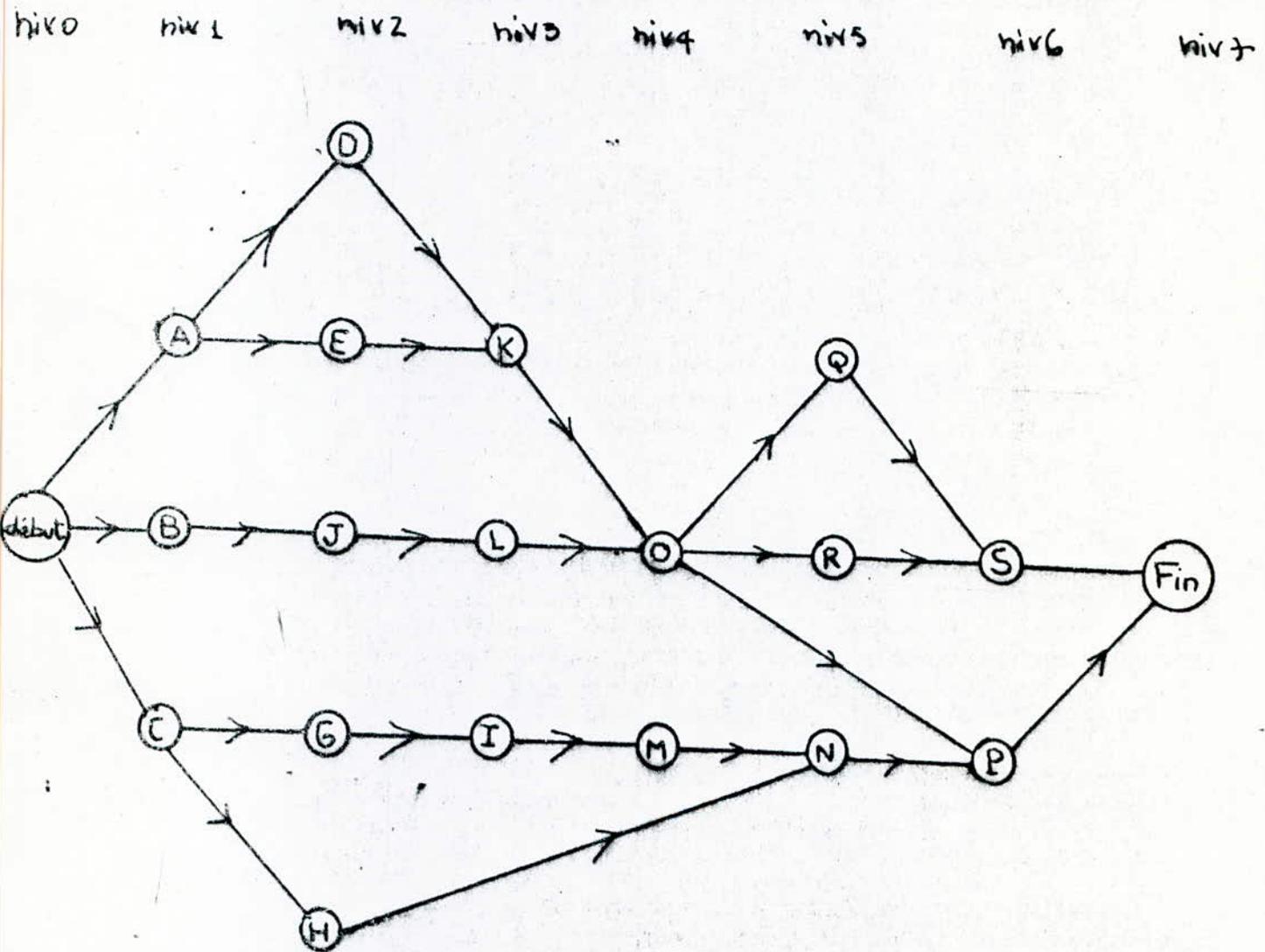
P A B Q D E H I J K L C F G M R N O TOP

P	1	1																		
A		1	1																	
B			1	1	1	1	1	1	1	1										
Q				1								1								
D					1								1							
E						1								1						
H							1								1					
I								1								1				
J									1							1				
K										1						1				
L											1					1				
C												1		1						
F													1		1					
G														1	1					
M																1				
R																1	1			
N																	1	1		
O																		1	1	
TOP																			1	1
P	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	2	2	2	2	
A	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	2	2	2	2	
B	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	2	2	2	2	
J,Q,D,K	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	10	2	2	2	2	
E,H,I,L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	10	2	2	2	2	
C,F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	2	2	2	2	
G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	2	2	2	
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	
R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
TOP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Figure n°2 : Matrice du niveau des tâches pour la rénovation du mote

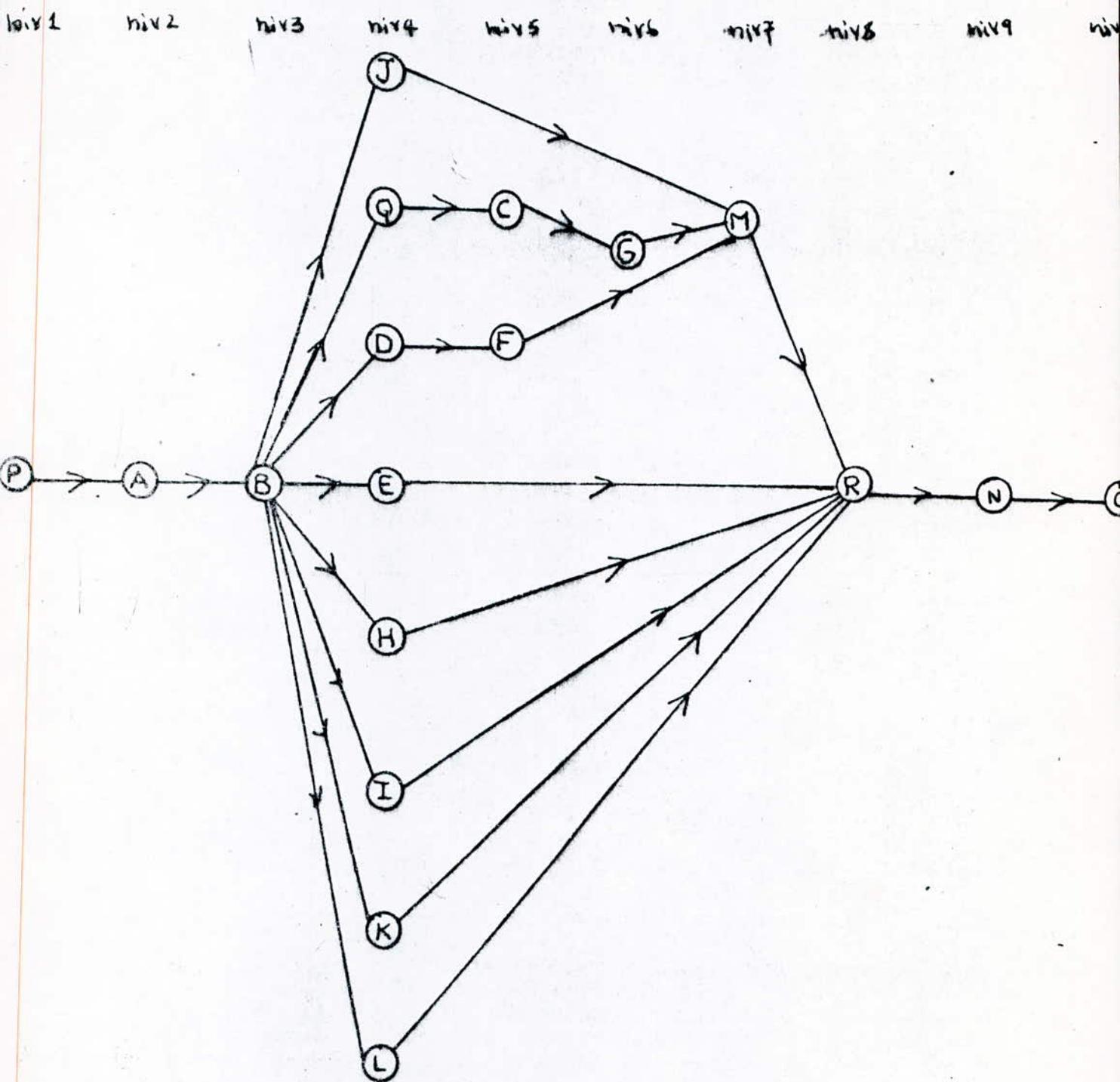
1.3.3 Construction du réseau PERT-TACHE

On obtient alors pour le véhicule le réseau PERT-TACHE suivant :



Réseau PERT-TACHE correspondant au véhicule

On obtient pour le moteur le réseau PERT-TACHE suivant:



Réseau PERT-TACHE correspondant au moteur

1.4 Estimation de la durée de mise en oeuvre des tâches :

Le réseau PERT-TACHE ne fait pas intervenir la durée des tâches. Cependant pour pouvoir indiquer, avant les travaux, la durée totale de l'ouvrage à réaliser, il est nécessaire d'estimer les durées.

A priori, on ne peut, même après identification des tâches, évaluer avec exactitude le degré de défaillance d'un élément quelconque, ce qui rend la durée de sa rénovation aléatoire.

Nous avons, ainsi, procédé comme il est indiqué au paragraphe 6-1 du chapitre 2 à l'estimation de trois durées prévisionnelles :

- La durée optimiste, c'est le temps minimal possible si tout se déroulait mieux qu'il n'est prévu;
- La durée pessimiste, c'est le temps maximal possible si tout marche mal (les catastrophes exceptées);
- La durée la plus probable, c'est le temps le plus vraisemblable qu'il faudra pour accomplir l'opération.

L'estimation de ces trois durées a été obtenue en questionnant les chefs d'ateliers ou les ouvriers qualifiés pour chaque opération.

Les durées des tâches pour le moteur et le véhicule sont regroupées respectivement dans les tableaux n° 5 et n° 6.

tâche	DUREE (en heures)				écart-type
	optimiste	pessimiste	probable	calculée	
A	3.00	6.00	4.00	4.16	0.50
B	0.75	2.00	1.25	1.29	0.20
C	2.00	4.00	3.00	3.00	0.33
D	0.75	1.50	1.00	1.04	0.12
E	3.00	6.00	4.00	4.16	0.50
F	0.50	1.25	0.75	0.79	0.12
G	2.50	6.00	4.00	4.08	0.58
H	1.50	3.00	2.00	2.08	0.25
I	3.00	6.00	4.00	4.16	0.50
J	2.00	4.00	-	3.00	0.33
K	3.00	3.00	3.00	3.00	0.00
L	0.50	2.00	0.75	0.91	0.25
M	16.00	24.00	20.00	20.00	1.33
N	2.00	8.00	4.00	4.33	1.00
O	0.75	0.75	0.75	0.75	0.00
P	8.00	80.00	40.00	41.33	12.00
Q	-	64.00	-	32.00	10.66
R	4.00	24.00	8.00	10.00	3.33

tableau n°5: Durées des tâches pour la "rénovation moteur" et leurs écart-types

tâche	DUREE (en heures)				écart-type
	optimiste	pessimiste	probable	calculée	
A	12.50	39.00	24.00	24.60	4.41
B	7.00	13.00	10.00	10.00	1.00
C	7.00	10.00	8.00	8.16	0.50
D	15.00	44.00	24.00	25.83	4.83
E	14.00	36.00	20.00	21.66	3.66
G	3.00	9.00	4.00	4.66	1.00
H	30.00	49.00	36.00	37.16	3.16
I	4.00	12.00	6.00	8.66	1.33
K	25.00	73.00	35.00	39.66	8.00
J	-	-	-	121.00	16.50
L	3.00	7.00	5.00	5.00	0.66
M	4.00	14.00	6.00	7.00	1.83
N	15.00	24.00	20.00	19.83	1.50
O	12.00	20.00	17.00	16.66	1.33
P	11.00	21.00	16.00	16.00	1.66
Q	8.00	39.00	16.00	18.50	5.16
R	15.00	34.00	18.00	20.16	3.16
S	66.00	91.00	80.00	79.50	4.16

tableau n°6 : Durées des tâches pour la "rénovation véhicule" et leurs écart-types

1.5 Traitement informatique

Nous avons utilisé, pour toutes les exécutions, le programme PERT donné en annexe, sur IBM PS/2.

1.5.1 Introduction des données

Les données sont introduites dans l'ordre suivant :

- le nombre de tâches que comportent les travaux de rénovation (n);
- le nom de chaque tâche (nom1);
- la durée de mise en oeuvre calculée (carac(i,1))
- les noms et les numéros des tâches descendantes de chaque tâche;
- le nom du projet (travaux de rénovation).

1.5.2 Détermination du chemin critique et de la durée finale des travaux

Le chemin critique est calculé, après l'introduction des données relatives à l'ensemble des tâches de la rénovation, grâce au traitement "calchecri". Il correspond à la lecture du chiffre 1 dans le traitement "menu". Le "menu" permet le passage d'un traitement à un autre (Voir signification des variables utilisées dans le programme et organigramme en annexe 3).

Le chemin critique correspondant à la rénovation du moteur est composé des tâches P, A, B, Q, C, G, M, R, N et O. (Voir tableau n°7)

Le chemin critique correspondant à la rénovation du véhicule est composé par les tâches B, J, L, O, R et S (voir tableau n°8).

La durée finale des travaux de rénovation du moteur est donnée par la date de fin de la tâche finale, soit 7257 mn. Celle ci permettra d'estimer la durée totale de rénovation du véhicule.

NOM	NOTACH	TCRT	DUREE	DO	DA	MT	ML	FO	FA
p	1	x	2480	0	0	0	0	2480	2480
a	2	x	250	2480	2480	0	0	2730	2730
b	3	x	77	2730	2730	0	0	2807	2807
q	4	x	1920	2807	2807	0	0	4727	4727
d	5		60	2807	5045	2238	0	2867	5105
e	6		250	2807	4902	2095	2095	3057	5152
h	7		125	2807	5027	2220	2220	2932	5152
i	8		250	2807	4902	2095	2095	3057	5152
j	9		180	2807	4972	2165	2165	2987	5152
k	10		180	2807	4972	2165	2165	2987	5152
l	11		55	2807	5097	2290	2290	2862	5152
c	12	x	180	4727	4727	0	0	4907	4907
f	13		47	2867	5105	2238	2238	2914	5152
g	14	x	245	4907	4907	0	0	5152	5152
m	15	x	1200	5152	5152	0	0	6352	6352
r	16	x	600	6352	6352	0	0	6952	6952
n	17	x	260	6952	6952	0	0	7212	7212
o	18	x	45	7212	7212	0	0	7257	7257
top	19	x	0	7257	7257	0	0	7257	7257

tableau n°7 : Caractéristiques des tâches d'une commande de rénovation d'un moteur

$$\text{durée moyenne prévisionnelle} = \frac{7257}{60} = 121 \text{ heures ouvrables}$$

$$= \frac{121}{8} = 15 \text{ jours ouvrables}$$

NOM	NOTACH	TCRT	DUREE	DO	DA	MT	ML	FC	FA
A	1		1476	0	2751	2751	0	1476	4227
B	2	x	600	0	0	0	0	600	600
C	3		490	0	10267	10267	0	490	10757
D	4		1550	1476	4227	2751	0	3026	5777
E	5		1300	1476	4477	3001	250	2776	5777
G	6		280	490	11887	11397	0	770	12167
H	7		2230	490	10757	10267	0	2720	12987
I	8		400	770	12167	11397	0	1170	12567
K	9		2380	3026	5777	2751	2751	5406	8157
J	10	x	7257	600	600	0	0	7857	7857
L	11	x	300	7857	7857	0	0	8157	8157
M	12		420	1170	12567	11397	1130	1590	12987
N	13		1190	2720	12987	10267	5247	3910	14177
O	14	x	1000	8157	8157	0	0	9157	9157
P	15		960	9157	14177	5020	5020	10117	15137
Q	16		1110	9157	9257	100	100	10267	10367
R	17	x	1210	9157	9157	0	0	10367	10367
S	18	x	4770	10367	10367	0	0	15137	15137
Lop	19	x	0	15137	15137	0	0	15137	15137

tableau n°8 : Caractéristiques des tâches d'une commande de rénovation d'un véhicule

$$\text{durée moyenne prévisionnelle} = \frac{15137}{60} = 252.3 \text{ heures ouvrables}$$

$$= \frac{252.3}{8} = 31.5 \text{ jours ouvrables}$$

1.6 Calcul de la probabilité de respecter un délai

La durée moyenne de la rénovation du moteur est calculée prévisionnellement à 121 heures, soit 15 jours ouvrables, avec $\sigma = 16.5$ heures \approx 2 jours ouvrables

Il serait intéressant de connaître la probabilité pour que la rénovation soit achevée au plus tard avant un délai fixé. Pour cela faisons varier le délai de la rénovation du moteur autour de la durée moyenne prévisionnelle et calculons cette probabilité

Les valeurs de probabilité sont lues dans la table de la loi normale (voir annexe 2)

délai D (heures)	délai-tM	$\frac{\text{délai-tM}}{\sigma} = T$	P (U \leq T)	%
100	-21	-1.27	0.102	10.2
105	-16	-0.969	0.242	24.2
110	-11	-0.666	0.252	25.2
115	- 6	-0.363	0.350	35.0
116	- 5	-0.303	0.381	38.1
117	- 4	-0.242	0.404	40.4
118	- 3	-0.181	0.428	42.8
119	- 2	-0.121	0.452	45.2
120	- 1	-0.060	0.476	47.6
121	0	0.00	0.500	50.0
122	1	0.060	0.524	52.4
123	2	0.121	0.548	54.8
125	4	0.242	0.596	59.6
130	9	0.545	0.707	70.7
135	14	0.848	0.802	80.2
140	19	1.151	0.875	87.5
145	24	1.454	0.927	92.7
150	21	1.757	0.960	96.0
155	34	2.060	0.980	98.0

tableau n°9 : Probabilité que les travaux de rénovation du moteur soient achevés au plus tard avant le délai "D".

La durée moyenne de la rénovation d'un véhicule est calculée prévisionnellement à 252.3 heures, soit 31.5 jours ouvrables avec $\sigma = 11.43$ heures ≈ 1.5 jours ouvrables.

Faisons varier le délai de la rénovation du véhicule autour de la durée moyenne prévisionnelle et calculons la probabilité que les travaux soient achevés au plus tard avant le délai 'D'.

Les valeurs de probabilité sont lues dans la table de la loi normale (voir annexe 2)

délai D (heures)	délai-tM	délai-tM $T = \frac{\text{délai-tM}}{\sigma}$	P (U ≤ T)	%
215	-37.300	-3.263	0.0005	0.055
220	-32.300	-2.825	0.002	0.210
225	-27.300	-2.388	0.008	0.850
230	-22.300	-1.951	0.025	2.550
235	-17.300	-1.513	0.065	6.5 0
240	-12.300	-1.076	0.141	14.100
245	- 7.300	-0.638	0.261	26.170
246	- 6.300	-0.551	0.291	29.100
247	- 5.300	-0.463	0.321	32.100
248	- 4.300	-0.376	0.353	35.340
249	- 3.300	-0.288	0.386	38.660
250	- 2.300	-0.201	0.420	42.000
251	- 1.300	-0.113	0.455	45.500
252.3	0.00	0.00	0.500	50.000
253	0.700	0.061	0.524	52.400
254	1.700	0.148	0.558	55.800
255	2.700	0.236	0.593	59.300
257	4.700	0.411	0.659	65.900
260	7.700	0.673	0.749	74.900
265	12.700	1.111	0.866	86.600
270	17.700	1.548	0.939	93.900
275	22.700	1.986	0.976	97.600
280	27.700	2.423	0.992	99.200

tableau n°10 : Probabilité que les travaux de rénovation soit achevés au plus tard avant délai "D".

Ainsi la durée minimale des travaux de rénovation a été estimée à 31.5 jours ouvrables.

La probabilité que les travaux soient achevés au plus tard 31.5 jours ouvrables après leur début est donnée par :
 $P (t \leq t_M = 31.5) = 0.5$ soit 50% de chance que la rénovation soit achevée.

2-Impact de la perturbation de la durée d'une tâche quelconque sur la durée finale des travaux de rénovation

2-1 Perturbation sur la durée d'une tâche non critique :

La durée prévisionnelle de la tâche non critique n°8 est égale à 400 mn. La tâche dispose d'une marge de 11097 mn soit 23 jours ouvrables pour être réalisée.

Maintenant, supposons que la durée effective de la tâche soit de 1000 mn au lieu de 400, la durée totale des travaux, malgré la fluctuation de la durée de la tâche n°8, reste inchangée (voir tableau n°14).

2-2 Perturbation sur la durée d'une tâche critique :

Faisons varier la durée effective de la tâche critique n°11, dont la marge totale est nulle.

En supposant que l'écart entre l'ancienne et la nouvelle valeur est de 200 mn (la durée effective de la tâche n°11 est évaluée à 500 au lieu de 300 mn prévues), la durée totale des travaux est passée de 15137 mn = 252.28 h à 255.5 h soit un accroissement équivalent à celui de la durée de la tâche critique n°11. (voir tableau n°11)

En conclusion, l'exécution des tâches critiques doit être suivie avec un grand intérêt car tout retard dans l'exécution de l'une d'entre elles entraînerait un retard équivalent de la durée finale de la rénovation, tandis que l'allongement des durées des tâches non critiques n'affecte pas la durée totale du projet tant que les marges ne sont pas dépassées.

NOM	NOTACH	TCRT	DUREE	DO	DA	NT	ML	FO	PA
A	1		1476	0	2751	2751	0	1476	4227
B	2	X	600	0	0	0	0	600	600
C	3		490	0	10267	10267	0	490	10757
D	4		1550	1476	4227	2751	0	3026	5777
E	5		1300	1476	4477	3001	250	2776	5777
G	6		280	490	11287	10797	0	770	11567
H	7		2230	490	10757	10267	0	2720	12987
I	8		1000	770	11567	10797	0	1770	12567
K	9		2380	3026	5777	2751	2751	5406	8157
J	10	X	7257	600	600	0	0	7857	7857
L	11	X	300	7857	7857	0	0	8157	8157
M	12		420	1770	12567	10797	530	2190	12987
N	13		1190	2720	12987	10267	5247	3910	14177
O	14	X	1000	8157	8157	0	0	9157	9157
P	15		960	9157	14177	5020	5020	10117	15137
Q	16		1110	9157	9257	100	100	10267	10367
R	17	X	1210	9157	9157	0	0	10367	10367
S	18	X	4770	10367	10367	0	0	15137	15137
top	19	X	0	15137	15137	0	0	15137	15137

tableau n°14 : Résumé caractéristiques des d'une commande de rénovation d'un véhicule

$$\text{durée moyenne prévisionnelle} = \frac{15137}{60} = 252.3 \text{ heures ouvrables}$$

$$= \frac{252.3}{8} = 31.5 \text{ jours ouvrables}$$

NOH	MOTACH	TCRT	DUREE	DO	DA	MT	ML	FO	FA
A	1		1476	0	2951	2951	0	1476	4427
B	2	x	600	0	0	0	0	600	600
C	3		490	0	10467	10467	0	490	10957
D	4		1550	1476	4427	2951	0	3026	5977
E	5		1300	1476	4677	3201	250	2776	5977
G	6		280	490	11487	10997	0	770	11767
H	7		2230	490	10957	10467	0	2720	13187
I	8		1000	770	11767	10997	0	1770	12767
K	9		2380	3026	5977	2951	2951	5406	8357
J	10	x	7257	600	600	0	0	7857	7857
L	11	x	500	7857	7857	0	0	8357	8357
M	12		420	1770	12767	10997	530	2190	13187
N	13		1190	2720	13187	10467	5447	3910	14377
O	14	x	1000	8357	8357	0	0	9357	9357
P	15		960	9357	14377	5020	5020	10317	15337
Q	16		1110	9357	9457	100	100	10467	10567
R	17	x	1210	9357	9357	0	0	10567	10567
S	18	x	4770	10567	10567	0	0	15337	15337
Top	19	x	0	15337	15337	0	0	15337	15337

tableau n°11 : Résumé des caractéristiques des tâches d'une commande de rénovation d'un véhicule

$$\text{durée moyenne prévisionnelle de rénovation} = \frac{15337}{60} = 255.5 \text{ heures ouvrables}$$

$$= \frac{255.5}{8} = 32 \text{ jours ouvrables}$$

3- REPARTITION DES RESSOURCES AFIN DE RESPECTER UN DELAI FIXE

Il serait intéressant de savoir comment un spécialiste d'ordonnancement peut répartir les ressources afin d'exécuter son programme de rénovation dans les délais.

Le 'PERT' prévient à temps le directeur de la rénovation qu'une action corrective est nécessaire.

Les tâches critiques, qui ont une marge totale nulle, doivent être surveillées avec une attention particulière.

Si le délai, de rénovation d'un véhicule, convenu avec le client, est fixé à 235 heures ouvrables, la probabilité de respecter ce délai est 0.065, c'est-à-dire 6.50% de chance de retenir ce délai. (voir tableau n°10)

La probabilité de 0.065 indique qu'il y a très peu de chances (6.5%) que la date convenue soit respectée, sauf si l'on obtient une prolongation du délai.

Le problème est de voir comment, en qualité de spécialiste d'ordonnancement, l'agent pourra respecter le délai de 235 heures.

D'une manière ou d'une autre, il faut réduire de 17 heures environ ($252-235 = 17$) la durée du chemin critique. Sur celui-ci nous trouvons six tâches (B, J, L, O, R et S). Ainsi, il serait difficile de réduire la durée de chacune d'elles, étant donné que la variance de certaines d'entre elles est faible, ce qui dénote une bonne exactitude des estimations de temps.

Il est donc nécessaire de réévaluer les opérations à forte variance, c'est-à-dire les opérations J et S et calculer de nouvelles estimations de temps. Les durées de ces tâches doivent être réduites d'au moins 17 h pour pouvoir respecter le délai.

La deuxième alternative pour respecter le délai de rénovation de 235 h ouvrables est de prélever du personnel qualifié sur certaines opérations ayant une marge totale appréciable (tâche n° 8 par exemple) .

Il faudra, dans ce cas, réévaluer les durées des tâches ayant cédés leur personnel puisqu'elles devront être accomplies avec moins de ressources humaines.

La date prévue pour exécuter la tâche n°8 est de 400 mn. En réévaluant cette durée à 1400 mn (puisque'elle a cédé du personnel au profit de la tâche critique n° 18) et si la durée de la tâche n°18 est ramenée à 3370 mn au lieu de 4770 mn prévues, la durée totale de l'ouvrage sera déterminée en calculant les dates de début et de fin de chaque tâche. Celle ci est alors estimée à 235.6 heures. On remarque que le chemin critique n'a pas changé. (voir tableau n°13)

NGM	NOTACH	TCRT	DUREE	DO	DA	NT	ML	FO	FA
A	1		1476	0	3001	3001	0	1476	4477
B	2	X	600	0	0	0	0	600	600
C	3		490	0	9267	9267	0	490	9757
E	5		1300	1476	4477	3001	0	2776	5777
G	6		280	490	9887	9397	0	770	10167
H	7		2230	490	9757	9267	0	2720	11987
I	8		1400	770	10167	9397	0	2170	11567
K	9		2380	2776	5777	3001	3001	5156	8157
J	10	X	7257	600	600	0	0	7857	7857
L	11	X	300	7857	7857	0	0	8157	8157
M	12		420	2170	11567	9397	130	2590	11987
N	13		1190	2720	11987	9267	5247	3910	13177
O	14	X	1000	8157	8157	0	0	9157	9157
P	15		960	9157	13177	4020	4020	10117	14137
Q	16		1110	9157	9257	100	100	10267	10367
R	17	X	1210	9157	9157	0	0	10367	10367
S	18	X	3770	10367	10367	0	0	14137	14137
top	19	X	0	14137	14137	0	0	14137	14137

tableau n°13 : Caractéristiques des tâches d'une commande de rénovation d'un véhicule

$$\text{durée moyenne prévisionnelle de rénovation} = \frac{14137}{60} = 235.6 \text{ heures ouvrables}$$

$$= \frac{235.6}{8} = 29.5 \text{ jours ouvrables}$$

En résumé le PERT est :

- Un instrument de direction pour définir et coordonner ce qui doit être fait pour atteindre les buts fixés dans le temps prescrit. Nous y sommes arrivés au moyen d'une représentation graphique du réseau PERT.
- Une méthode qui aide à prendre les décisions, mais ne les prend pas.
- Une méthode qui donne les renseignements statistiques sur les incertitudes quant à l'accomplissement des nombreuses tâches. C'est ainsi que nous avons calculé les durées des tâches, les variances et les probabilités.
- Une méthode destinée à attirer l'attention de la direction sur les ajustements de temps, de ressources qui peuvent faciliter le respect des délais. C'est ce que nous avons fait à travers un exemple, en recherchant dans le tableau n°13 (caractéristiques des tâches) les possibilités de transfert de ressources.

EXTENSION

La méthode PERT-TACHE est basée sur le temps, elle a comme objectifs essentiels :

- La programmation des éléments d'une réalisation, c'est-à-dire l'ordre dans lequel ils doivent être exécutés;
- L'estimation des durées de l'ensemble des tâches d'une réalisation.

Son application à l'exécution d'une commande de rénovation à l'U.C.M.A nous a permis de calculer un délai minimal.

Deux principales extensions de la méthode : le PERT-COUT et le PERT-CHARGE, peuvent être appliquées. Néanmoins l'outil informatique est nécessaire pour maîtriser au mieux l'exécution de la rénovation et permet de prendre les décisions appropriées sur des phénomènes imprévisibles.

Le PERT-COUT détermine, pour une durée minimale de réalisation, un ordonnancement des tâches qui minimise le coût de cette réalisation.

Le PERT-CHARGE permet le lissage des moyens (humains et/ou matériels) en jouant sur les marges des tâches non critiques.

CONCLUSION

La rénovation générale d'un véhicule à l'U.C.M.A est souvent entreprise avec de fréquentes interruptions des travaux dûes essentiellement au manque de préparation et d'organisation.

Ainsi, le véhicule séjourne en moyenne 3 à 4 mois à l'intérieur des ateliers pour être totalement rénové.

L'exécution de la rénovation ne saurait se faire, dans le désordre et sans plan prévisionnel. Il est donc, impératif d'établir suffisamment à l'avance l'enclenchement des tâches de sorte qu'elles soient logiquement coordonnées.

Il est aussi impératif d'estimer la durée des tâches afin de pouvoir, par une méthode d'ordonnancement, calculer les dates de début, de fin de l'ensemble des opérations et de la durée optimale prévisinnelle de la rénovation.

Nous avons à l'aide de la méthode PERT-TACHE établi un programme d'exécution d'une commande de rénovation et estimé le délai prévisionnel de la rénovation à 31.5 jours ouvrables, soit un mois et demi, réduisant la durée de la rénovation d'au moins un mois. Nous avons par ailleurs montré à travers un exemple test, comment on pourrait répartir les ressources afin de respecter un délai fixé.

Bibliographie

- 1/ Dr S.SALHI : Cours de recherche opérationnelle
Département genie industriel (E.N.P)
- 2/ PAUL LAMBERT : Fonction d'ordonnancement
1971
- 3/ E.MAUREL ET D.DUPONT : Techniques opérationnelles d'ordonnancement fondées sur la méthode PERT
'Potentiels-tâches'
Edition Eyrolles 1977
- 4/ G.CULLMAN : Recherche opérationnelle théorie et pratique
Edition Eyrolles 1970
- 5/ JACQUES BERNARD ET MARKO PAKER : Les Plannings
Les éditions d'organisation
1986
- 6/ F.DROESBEKE, M.HALLIN ET GI.LEFEVRE : Les graphes par l'exemple 1987
- 7/ DELFOSSE : Les planings volume III
Entrprise moderne d'edition 1971
- 8/ La méthode PERT Edition moderne 1984

ANNEXES

ANNEXE 1

EXTENSION DE LA METHODE PERT-TEMPS: PERT-COUT

1-Enoncé du problème :

considérons l'exécution d'une rénovation constituée de n tâches dont :

- la durée peut varier entre deux limites données;
- le coût de réalisation est une fonction linéaire décroissante de la durée d'exécution;
- et soumises à des contraintes de postériorité stricte.

Il convient, pour une durée minimale de réalisation du projet, fixée, de déterminer un ordonnancement des n tâches qui minimise le coût d'exécution du projet.

2-Formulation :

Construction par la méthode P.E.R.T le réseau-étapes associé au problème. Un arc $(X_i, X_j) \in Z$ représente une tâche.

Soient a_{ij} : durée de réalisation minimum de cette tâche
 b_{ij} : durée de réalisation maximum de la tâche

$$0 \leq a_{ij} \leq b_{ij}$$

La durée de réalisation effective t_{ij} doit donc vérifier la construction $a_{ij} \leq t_{ij} \leq b_{ij}$.

notons f_{ij} le coût de réalisation de la tâche (i, j) correspondant à un temps de réalisation t_{ij} .

$$\text{On a : } f_{ij} = k_{ij} - h_{ij} \cdot t_{ij}$$

ou $k_{ij} > 0$ est un coût fixe;
 $h_{ij} > 0$ est coût par unité de temps.

Le coût total de réalisation du projet s'élève à :

$$f = \sum_{(x_i, x_j) \in Z} k_{ij} - \sum_{(x_i, x_j) \in Z} h_{ij} t_{ij}$$

Z : ensemble des étapes du réseau PERT

Considérons le problème d'ordonnancement par le réseau pert-temps obtenu en posant $t_{ij} = a_{ij}$, il y correspond une durée minimale de réalisation des travaux β_m . Au même problème obtenu en posant cette fois $t_{ij} = b_{ij}$, correspond une durée minimale du projet β_M . Pour tout ensemble de temps d'exécution t_{ij} ($a_{ij} \leq t_{ij} \leq b_{ij}$), la durée minimale de réalisation des travaux β sera comprise entre β_m et β_M .

Fixons une durée minimale du projet β , avec $\beta_m \leq \beta \leq \beta_M$. Le problème est de déterminer les durées t_{ij} , et donc les dates au plutôt t_i , de manière à minimiser le coût total du projet.

$$\text{Min } f = \sum_{(x_i, x_j) \in Z} k_{ij} - \sum_{(x_i, x_j) \in Z} h_{ij} * t_{ij}$$

$$a_{ij} \leq t_{ij} \leq b_{ij} \quad \text{pour toute tâche}$$

$$t_0 = 0 \quad t_N = \beta$$

$$t_j = \text{Max} \{ t_i + t_{ij} / x_i \in \Gamma(x_i) \}; \quad 1 \leq j \leq N$$

-DISTRIBUTION NORMALE :

Une variable aléatoire quantitative continue suit une distribution normale si elle résulte de causes de variations :

- nombreuses;
- indépendantes;
- additives.

La densité de probabilité de cette distribution est :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp - \frac{(x - \mu)^2}{2 \sigma^2}$$

Elle est donc entièrement définie par 2 paramètres :

- sa moyenne μ ;
- sa variance σ^2 .

Il faut savoir que : l'intervalle $\mu \pm \sigma$ contient 68% des observations

Il faut savoir que : l'intervalle $\mu \pm 2\sigma$ contient 95% des observations

Il faut savoir que : l'intervalle $\mu \pm 3\sigma$ contient 99% des observations

Si une variable aléatoire x suit une loi Normale de moyenne μ et d'écart-type σ : $x \longrightarrow N(\mu, \sigma)$, alors $x - \mu \longrightarrow N(0, \sigma)$, signifie que $(x - \mu)$ suit une loi Normale centrée et

$$u = \frac{x - \mu}{\sigma} \longrightarrow N(0, 1)$$

signifie que u suit une loi Normale centrée-réduite.

Annexe 3.3 - Loi de Gauss

Table de la fonction intégrale de la loi de Laplace-Gauss
(Probabilité de trouver une valeur inférieure à x.)



Fonction

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0.0	0,50000	0,50399	0,50798	0,51197	0,51595	0,51994	0,52392	0,52790	0,53188	0,53586
0.1	0,53983	0,54380	0,54776	0,55172	0,55567	0,55962	0,56356	0,56750	0,57142	0,57535
0.2	0,57926	0,58317	0,58706	0,59095	0,59484	0,59871	0,60257	0,60642	0,61026	0,61409
0.3	0,61791	0,62172	0,62552	0,62930	0,63307	0,63683	0,64058	0,64431	0,64803	0,65173
0.4	0,65542	0,65919	0,66294	0,66667	0,67038	0,67407	0,67774	0,68139	0,68502	0,68862
0.5	0,69220	0,69577	0,69932	0,70285	0,70636	0,70985	0,71332	0,71677	0,72020	0,72361
0.6	0,72701	0,73048	0,73393	0,73736	0,74077	0,74416	0,74753	0,75088	0,75421	0,75752
0.7	0,76081	0,76418	0,76753	0,77086	0,77417	0,77746	0,78073	0,78398	0,78721	0,79042
0.8	0,79361	0,79679	0,79995	0,80309	0,80621	0,80931	0,81239	0,81545	0,81849	0,82151
0.9	0,82451	0,82749	0,83045	0,83339	0,83631	0,83921	0,84209	0,84495	0,84779	0,85061
1.0	0,85341	0,85619	0,85895	0,86169	0,86441	0,86711	0,86979	0,87245	0,87509	0,87771
1.1	0,88031	0,88289	0,88545	0,88799	0,89051	0,89301	0,89549	0,89795	0,90039	0,90281
1.2	0,90521	0,90759	0,90995	0,91229	0,91461	0,91691	0,91919	0,92145	0,92369	0,92591
1.3	0,92811	0,93029	0,93245	0,93459	0,93671	0,93881	0,94089	0,94295	0,94499	0,94701
1.4	0,94901	0,95109	0,95315	0,95519	0,95721	0,95921	0,96119	0,96315	0,96509	0,96701
1.5	0,96891	0,97079	0,97265	0,97449	0,97631	0,97811	0,97989	0,98165	0,98339	0,98511
1.6	0,98681	0,98859	0,99035	0,99209	0,99381	0,99551	0,99719	0,99885	0,99999	
1.7										
1.8										
1.9										
2.0										
2.1										
2.2										
2.3										
2.4										
2.5										
2.6										
2.7										
2.8										
2.9										

Tableau 1: F(x) pour les grandes valeurs de x.

x	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
10 ⁻¹	687 10 ⁻⁸	433 10 ⁻⁸	337 10 ⁻⁸	223 10 ⁻⁸	159 10 ⁻⁸	108 10 ⁻⁸	723 10 ⁻⁹	481 10 ⁻⁹	
10 ⁻²	207 10 ⁻⁸	133 10 ⁻⁸	85 10 ⁻⁸	54 10 ⁻⁸	34 10 ⁻⁸	21 10 ⁻⁸	13 10 ⁻⁸	79 10 ⁻⁹	48 10 ⁻⁹
10 ⁻³	17 10 ⁻⁸	10 10 ⁻⁸	58 10 ⁻⁹	33 10 ⁻⁹	19 10 ⁻⁹	11 10 ⁻⁹	60 10 ⁻¹⁰	33 10 ⁻¹⁰	18 10 ⁻¹⁰

Tableau 1: F(x) pour les grandes valeurs de x.
 Lorsque x est positif, la fonction F(x) est la probabilité de trouver une valeur inférieure à x dans une loi de Laplace-Gauss.
 Lorsque x est négatif, F(x) = 0,5 - f(x), où f(x) est la fonction de densité de la loi de Laplace-Gauss.
 f(x) = 1/√(2π) * exp(-x²/2)

```

(*****)
(*)
(*)          PROGRAMME D'ORDONNANCEMENT          (*)
(*)
(*****)
uses graph, crt;
const n=30;maxx=600;maxy=300;
type
  noml=string[3];
var
  car:char;
max,maxt,maxr,res,nn,nbcrit,ind,nbtach,niv,min,k,i,j,jl,s,cordi,rond:integer;
nhiv,rayg,pred:array[1..n] of integer;
cord:array[1..n,1..3] of integer;
rang[,tmv,rang]:array[1..n] of integer;lect:text;
ca:array[1..n,0..3] of integer;
st:array[1..n,1..3] of integer;

r:char;
w:real;
tpatol,top,nt,r1,a,mi,d,b,l,k1,i1,n,n1,n2,men:integer;
nom:array[1..g] of noml;
projet,sortie:noml;
raphe,raphe:array[0..n,0..n] of integer;
carac:array[0..n,0..7] of integer;
critic:array[1..n] of integer;
fs,p:protext;
(*****)
procedure m:used;forward;
procedure menu;forward;
procedure valchori;forward;
procedure valmarges;forward;
procedure chemoxi;forward;
procedure pluscontrainte;forward;
procedure minuscontrainte;forward;
procedure tachencins;forward;
procedure tachepius;forward;
procedure modifduree;forward;
procedure graphe;forward;
procedure sauvegarde;forward;
procedure impression;forward;
(*****)
procedure wait;
var car:char;
begin
  writeln(' TAPER UNE TOUCHE POUR CONTINUER ');
  car:=readkey;
end;
(*****)
procedure top;
var tp:integer;
begin
  tp:=0;
  for i:=1 to n do
    if (raphe[i,0]=0)and(carac[i,1]=0) then tp:=tp+1;

  if tp>0 then begin tp:=0;
    for i:=1 to n do
      if raphe[i,0]=0 then
        begin tp:=tp+1;raphe[i,n+1]:=-1;raphe[i,0]:=-1;
          end;
      if tp>0 then begin raphe[0,n+1]:=-tp;n:=n+1;raphe[n,0]:=-0;

```

```

        caract[n,0]:=1;caract[n,1]:=0;nom[n]:='top';
    end
else begin writeln(' ATTENTION !! VOTRE GRAPHE COMPORTE UN CIRCUIT,');
    writeln(' REINTRODUISEZ VOTRE GRAPHE');
    men:=1;end;

end;

end;
(*****)
procedure lecture;
begin
men:=0;
clrscr;
write(' - Combien de taches comporte votre Projet? ');
readln(n);writeln;
for i:=1 to n do
begin
write(' - Quelle est la tache n° ',i:3,'? ');
readln(nom[i]);caract[i,0]:=1;writeln;
write(' - Quelle est sa durée la plus probable? ');
readln(caract[i,1]);
writeln;
end;

for i:=1 to n do
begin
write(' - Combien de taches suivent la tache ',nom[i],'? ');readln(n1);writeln;
if n1<>0 then begin
    writeln(' - Entrez leurs numeros en les separant par des return ');
    writeln;raphe[i,0]:=n1;
    writeln;
    for j:=1 to n1 do
    begin
    readln(k);
    raphe[i,k]:=1;raphe[0,k]:=raphe[0,k]+1;
    end;
    end;

end;
top;
if men=0 then
begin writeln('QUEL EST LE NOM DE CE PROJET? ');
    readln(projet);end;
end;
(*****)
procedure menu;
begin
clrscr;
gotoxy(10,2);write(' VOULEZ-VOUS ');
gotoxy(14,6);write('1 / CALCULER LE CHEMIN CRITIQUE ET LES FLOTTEMENTS');
gotoxy(14,8);write('2 / AJOUTER UNE CONTRAINTE');
gotoxy(14,10);write('3 / ENLEVER UNE CONTRAINTE');
gotoxy(14,11);write('4 / ENLEVER UNE TACHE');
gotoxy(14,14);write('5 / AJOUTER UNE TACHE');
gotoxy(14,16);write('6 / MODIFIER LA DUREE D'UNE TACHE');
gotoxy(14,18);write('7 / AFFICHER LE GRAPHE');
gotoxy(14,20);write('8 / SAUVEGARDE DU FICHIER');
gotoxy(14,22);write('9 / FIN');
gotoxy(9,25);write(' tapez un numero ----> ');read(r1);clrscr;
case r1 of
1:begin calchcri;menu;end;
2:begin pluscontrainte;menu;end;
3:begin moinscontrainte;menu;end;
4:begin tachenmoins;menu;end;
5:begin tacheplus;menu;end;
6:begin modifiduree;menu;end;
7:begin graphe;menu;end;
8:begin sauvegarde;menu;end;

```

```

3:olrscr,
end;
end;
(*****)
procedure calchcri;
begin
writeLn;
writeLn(' RECHERCHE DU CHEMIN CRITIQUE ');WRITELN;
for i:=1 to n do
  if (carac[i,0]=1)and(raphe[0,i]=0)
  then carac[i,2]:=0
  else carac[i,2]:=-100;
  ***** calcul des dates de debut au plutot *****
b:=1;
while b=1 do
begin b:=0;
  for j:=1 to n do
  begin
  if carac[j,0]<>0 then
    begin for i:=1 to n do
      if carac[i,0]=1
      then begin
        if raphe[i,j]=1
        then begin l:=carac[i,1];
          if carac[j,2]<carac[i,2]+1
          then
            begin b:=1;
              carac[j,2]:=carac[i,2]+1;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
  end;
end;
end;
end;
***** calcul des dates de debut au plutard *****
s:=0; i:=0;
while (i<n)and(s=0) do
begin
if carac[i,0]=1 then
  begin if (raphe[i,0]=0)and(raphe[0,i]<>0)
    then begin s:=1;i1:=i;end;
  end;
i:=i+1;
end;
carac[i1,3]:=carac[i1,2];
for i:=1 to n do if i>i1 then carac[i,3]:=carac[i1,2];
b:=1;
while b=1 do
begin
b:=0;j:=n;
while j>0 do
begin
if carac[j,0]=1 then begin i:=n;
  while i>0 do
  begin
    if (carac[i,0]=1)and(raphe[i,j]=1) then
    begin l:=carac[i,1];
      if carac[i,3]>(carac[j,3]-1) then
      begin b:=1;carac[i,3]:=carac[j,3]-1;end;
    end;
    i:=i-1;
  end;
end;
end;
end;
end;
j:=j-1;
end;

```

```

end;
for i:=1 to n do begin
    carac[i,6]:=carac[i,2]+carac[i,1];
    carac[i,7]:=carac[i,3]+carac[i,1];
end;

calmarges;

end;
(*****)
procedure calmarges;
begin
writeln(' RECHERCHE DES FLOTTEMENTS ');
writeln;
for i:=1 to n do
begin
carac[i,4]:=carac[i,3]-carac[i,2];
if carac[i,0] <> 0 then
    if raphe[i,0] <> 0 then
        begin mi:=30000;
            for j:=1 to n do
                if (carac[j,0]=1)and(raphe[i,j]=1) then
                    begin d:=carac[j,2]-carac[i,2]-carac[i,1];
                        if mi>d then mi:=d;
                    end;
                carac[i,5]:=-mi;
            end;
        end;
end;
writeln;
end;
(*****)
procedure cartache;
begin
i:=1;
while i<=n do
begin
if carac[i,0]=1 then
begin
writeln;
writeln(' TACHE : ',nom[i]);
writeln(' DATE DE DEBUT AU PLUS TOT: ',carac[i,2]);
writeln(' DATE DE FIN AU PLUS TOT: ',carac[i,6]);
writeln(' DATE DE DEBUT AU PLUS TARD: ',carac[i,3]);
writeln(' DATE DE FIN AU PLUS TARD: ',carac[i,7]);
writeln(' FLOTTEMENT TOTAL: ',carac[i,4]);
writeln(' FLOTTEMENT LIBRE: ',carac[i,5]);
writeln;
end;
i:=i+1;
end;
end;
(*****)
procedure chenori;
var cc:char;
begin
for i:=1 to n do critic[i]:=0;
carac[0,3]:=-1;
writeln(' VOICI LE CHEMIN CRITIQUE '),writeln;
b:=1,i:=0;
while (i<=n, and(b=1)) do
begin
i:=i+1;
if (raphe[0,i]=0)and(carac[i,0]=1) then b:=0;
end;
raphe[0,i]:=1;
if b<0 then begin a:=1;

```

```

        writeln('AUTRE ET DEVIENT AINSI UN TOP INITIAL ');
        end;

    end;

end;
b:=1;

case s1 of
1:begin writeln;
    writeln(' ATTENTION: le graphe ne comporte pas de top final');
    b:=0;
    end;
2:b:=0;
3:begin writeln;
    writeln(' ATTENTION: LE GRAPHE POSSEDE ',s1-1,' TOPS FINALS, CE QUI EN FAIT ');
    writeln(s1-2,' DE TROP!');
    b:=0;
    end;
end;
end;
if b=0 then case s2 of
1:begin writeln;
    writeln(' ATTENTION: le graphe ne comporte pas de top initial');
    end;
3:begin writeln;
    writeln(' ATTENTION: le graphe possede ',s2-1,' tops initiaux,');
    writeln(' ce qui en fait ',s2-1,' de trop !');
    end;
end;
end;
clrscr;
end;
|*****|
procedure pluscontrainte;
begin
    cordi:=0;
    clrscr;
    write(' A PARTIR DE QUELLE TACHE ? ');readln(i);writeln;
    write(' VERS QUELLE TACHE ? ');readln(j);
    raphe[i,j]:=1;raphe[i,0]:=-raphe[i,0]+1;raphe[0,j]:=-raphe[0,j]+1;carac[0,0]:=-0;
    coherence;
end;
|*****|
procedure moinscontrainte;
begin
    cordi:=0;
    clrscr;
    write(' A PARTIR DE QUELLE TACHE ? ');readln(i);writeln;
    write(' VERS QUELLE TACHE ? ');readln(j);
    raphe[i,j]:=0;carac[0,0]:=0;raphe[0,j]:=-raphe[0,j]-1;raphe[i,0]:=0;
    coherence;
end;
|*****|
procedure*tachemoins;
begin
    cordi:=0;
    clrscr;
    write(' N° DE LA TACHE ? ');readln(i);
    carac[i,0]:=0;raphe[i,0]:=0;raphe[0,i]:=0;carac[0,0]:=0;
    for j:=1 to n do
        if raphe[i,j]=1 then
            begin
                for j1:=1 to n do
                    if raphe[j1,i]=1 then begin
                        raphe[j1,j]:=1;
                        raphe[j1,0]:=-raphe[j1,0]+1;
                        raphe[0,j]:=-raphe[0,j]+1;
                        raphe[j1,i]:=0;
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

begin a:=1 do
  b:=1;j:=0;
  while (j<n)and(b=1) do
    begin j:=j+1;
    if (raphe[1,j]<>0)and(carac[j,4]=0)and(carac[j,0]=1)and(carac[j,2]-carac[i,2]+carac[i,1])
      then b:=0;
    end;
  if b=0 then begin writeln(' DE ',nom[i], ' A ',nom[j], ' : DUREE ',carac[i,1]);
    critic[i]:=j;
    end;
  if raphe[j,0]<>0 then begin a:=1;i:=j;end else a:=0;
  end;
writeln;
writeln(' LE PROJET S'ACHEVERA AU PLUS TOT A LA DATE ',carac[J,2]);
writeln;
write('VOULEZ-VOUS CONNAITRE LES CARACTERISTIQUES DES TACHES ? (O/N)');
  readln;
  readln(r);
  case r of
    'o','O':cartache;
  end;
  writeln(' VOULEZ-VOUS SAUVGARDER VOS RESULTATS ? O/N ');
  readln(cc);
  case cc of
    'o','O':impression;
  end;
end;
clrscr;
wait;
end;
(*****)
procedure coherence;
var s1,s2:integer;
begin
  s1:=1;s2:=1;
  for i:=1 to n do
  begin
  if carac[i,0]=0 then begin for j:=1 to n do
    begin raphe[i,j]:=0;raphe[j,i]:=0;end;
    end
  else
    begin
    b:=1;j:=1;
    while (j<=n)and(b=1) do
      if (raphe[i,j]=1)and(carac[j,0]=1)
        then b:=0 else j:=j+1;
      if b=1 then
        begin s1:=s1+1;
          if raphe[i,0]<>0
            then begin raphe[i,0]:=0;
              writeln;
            end;
          b:=1;j:=1;
          while (j<=n)and(b=1) do
            if (raphe[j,i]=1)and(carac[j,0]=1)
              then b:=0 else j:=j+1;
            if b=1 then
              begin s2:=s2+1;
                if (raphe[0,i]<>0) then raphe[0,i]:=0;
                writeln;
              end;
            writeln(' ATTENTION : L'OPERATION n° ',i,' (' ,nom[i],') NE PRECEDE PLUS AUCUNE AUTRE ');
            writeln(' DEVIENT AINSI UN TOP FINAL .');end;
            end;
          if b=1 then
            begin s1:=s1+1;
              if raphe[0,i]<>0 then raphe[0,i]:=0;
              writeln;
            end;
            writeln(' ATTENTION : L'OPERATION n° ',i,' (' ,nom[i],') NE PRECEDE AUCUNE ');

```

```

                                end;
                                raphe[1,j]:=0;
                                raphe[0,j]:=raphe[0,j]-1;
                                end;

                                coherence;
                                end;
                                {*****}
                                procedure tacheplus;
                                begin
                                cordi:=0;
                                n:=n+1;
                                clrscr;
                                write(' NOM DE LA TACHE ? ');readln(nom[n]);
                                carac[n,0]:=1;carac[0,0]:=0;
                                writeln;
                                write(' - QUELLE EST SA DUREE ? ');readln(carac[n,1]);
                                writeln;
                                write(' + SON NUMERO EST DESORMAIS LE ',n);
                                writeln;
                                write(' - COMBIEN DE TACHES LA SUIVENT-ELLES ? ');readln(n1);
                                if n1<>0 then begin
                                writeln;
                                write(' ENTREE LEURS NUMEROS EN LES SEPARANT PAR DES RETURN :');
                                writeln;
                                raphe[n,0]:=n1;
                                writeln;
                                for j:=1 to n1 do
                                begin
                                readln(k);
                                raphe[n,k]:=1;raphe[0,k]:=raphe[0,k]+1;
                                end;
                                coherence;
                                end
                                else raphe[n,0]:=0;
                                writeln;
                                write(' - COMBIEN DE TACHES LA PRECEDENT-ELLES ? ');readln(n2);
                                if n2<>0 then begin
                                writeln;
                                write(' - ENTREE LEURS NUMEROS EN LES SEPARANT PAR DES RETURN :');
                                raphe[0,n]:=n2;
                                for i:=1 to n2 do
                                begin
                                readln(k);
                                raphe[k,n]:=1;raphe[k,0]:=raphe[k,0]+1;
                                end;
                                coherence;
                                end
                                else begin raphe[0,n]:=0;clrscr;end;

                                end;
                                {*****}
                                procedure modifduree;
                                begin
                                clrscr;
                                writeln;
                                write(' -DONNEZ LE N° DE LA TACHE : ');readln(i);
                                writeln;
                                write(' VALEUR ACTUELLE : ',carac[i,1]);
                                write(' - DONNEZ SA NOUVELLE VALEUR : ');readln(carac[i,1]);
                                carac[0,0]:=0;
                                clrscr;
                                end;
                                {*****}
                                procedure sauvegarde;
                                begin
                                assign pr,projet;

```

```

rewrite(pr);
writeln(pr,n);
for i:=0 to n do begin
    for j:=0 to n do write(pr,raphe[i,j],' ');
    writeln(pr);
end;
for i:= 0 to n do begin
    for j:= 0 to 7 do write(pr,carac[i,j],' ');
    writeln(pr);
end;
for i:=1 to n do writeln(pr,nom[i]);
close(pr);
end;
(*****)
procedure recuperation;
begin
write('DONNEZ LE NOM DU FICHIER A OUVRIR : ');
readln(projet);
assign(p,projet);
reset(p);
readln(p,n);
for i:=0 to n do begin
    for j:=0 to n do read(p,raphe[i,j]);
    readln(p);
end;
for i:= 0 to n do begin
    for j:= 0 to 7 do read(p,carac[i,j]);
    readln(p);
end;
for i:=1 to n do readln(p,nom[i]);
close(p);
end;
(*****)
procedure pert;
begin
    for i:=0 to m do for j:=0 to m do raphe[i,j]:=0;
for i:=0 to m do for j:=0 to 7 do carac[i,j]:=0;

dirscr,

gotoxy(10,10);write(' VOULEZ VOUS UTILISER UN FICHIER DEJA EXISTANT ? (O/N)');
readln(r);
case r of
'o','O':recuperation;
'n','N':lecture;
end;

menu;
end;
(*****)
procedure ord;
begin
    for i:=0 to n do for j:=0 to n do raph[i,j]:=-raphe[i,j];
for i:=0 to n do

    for i:=1 to n do pred[i]:=1;
k:=1; s:=n;
while s>0 do
begin
for i:=1 to n do if (raph[0,i]=0)and(pred[i]<>-1)
then begin pred[i]:=0;s:=s-1;
end;

for i:=1 to n do if pred[i]= 0 then rang[i]:=k;
for i:=1 to n do

```

```

begin if pred[i]=0 then raph[i,j]=i then raph[0,j]:=raph[0,j]-1;
end;
k:=k+1;
for i:=1 to n do if pred[i]=0 then pred[i]:=-1;
end;
rond:=k-1;
end;
(*****
procedure niveau;
begin
for i:=1 to n do nniv[i]:=0;
for j:=1 to rond do for j:=1 to n do if rang[j]=i then nniv[i]:=nniv[i]+1;
end;
end;
(*****
procedure init;
var gm,gd:integer;
begin
gm:=detect;
initgraph(gm,gd,' ');
end;
(*****
procedure dessin;
var interx, intery, x, y, y1, y2, m1: integer;
begin
init;
for i:=1 to n do rang1[i]:=rang[i];
interx:=round(maxx/(rond+1));
x:=18;
k:=0;
for i:=1 to rond do
begin
intery:=round(maxy/(nniv[i]+1));
if (i mod 2 = 0) then y:=round(maxy/2)+random(10)
else y:=round(maxy/2)-random(10);
y1:=y; y2:=y;
for j1:=1 to n do if rang1[j1]=i then
begin rang1[j1]:=0;
k:=k+1;
cord[k,1]:=j1;
cord[k,2]:=x; cord[k,3]:=y;
circle(x,y,10);
for m1:=1 to 18 do circle(x,y,10-m1);
setcolor(0);

settextstyle(1,0,2);
outtextxy(x-5,y-10,chr(j1+64));
setcolor(15);
(*setfillstyle(3,1);
floodfill(x,y,3);*)
if ((k mod 2)=0) then
begin y1:=y1-intery; y:=y1; end
else begin y2:=y2+intery; y:=y2; end;
end;

x:=x+interx;
end;
for i:=1 to n do
begin
for j:=1 to n do
if raph[cord[i,1],cord[j,1]]=1 then
line(cord[i,2],cord[i,3],cord[j,2],cord[j,3]);
end;
end;
(*****
procedure graphe;
begin
clrscr;

```

```

if cordl:=0 then begin
    ord;
    niveau;
    cordl:=1;
    dessin;
    end;
car:=readkey;
closegraph;
restorecrtmode;
end;
(*****)
procedure rang0;
begin
min:=1000;
for i:=1 to n do if (rang2[i]<min) and(rang2[i]<>-1) then min:=rang2[i];
nbtach:=0;
for i:= 1 to n do if rang2[i]=min then
begin
nbtach:=nbtach+1;
tniv[nbtach]:=i;
end;
end;
(*****)

```

```

procedure itache;
begin
niv:=min;
i:=topinit;
while (critic[i]=0)or(rang[i]<>niv) do i:=critic[i];
tpatch:=i;
end;
(*****)

```

```

procedure limpression;
begin
writeln,
writeln(' DONNER LE NOM DU FICHIER ');
readln(sortie);
assign(fs,sortie);
rewrite(fs);
writeln(fs,'
TABLEAU RESUMANT LES CARACTERISTIQUES DES TACHES D UNE');
writeln(fs,'
COMMANDE DE RENOVATION
',projet,'
');
writeln(fs);writeln(fs);
writeln fs,'


| NOM | NOTACH | TCRT | DUREE | DC | DA | MT | ML | FO | FA |
|-----|--------|------|-------|----|----|----|----|----|----|
|     |        |      |       |    |    |    |    |    |    |


';
writeln(fs,'
');

```

```

for i:=1 to n do
begin
if carac[i,0]<>0 then
begin
write(fs,'|',nom[i]:4,'|');
write(fs,i:5,'|');
if carac[i,4]=0 then write(fs,' x |')
else write(fs,' |');
for j:=1 to 7 do
write(fs,carac[i,j]:5,'|');
writeln(fs);
end;
end;

```

```

writeln(fs,'
');
close(fs);
end;
(*****- MAIN PROGRAM -*****)
begin
cordl:=0;
part;
end.

```

ANNEXE 4

SIGNIFICATION DES PRINCIPALES VARIABLES UTILISEES DANS LE PROGRAMME

Les principales variables, utilisées dans le programme, sont regroupées dans les tableaux RAPHE et CARAC.

*RAPHE : Tableau carré, contient les liens entre les différentes tâches :

- La première colonne contient le nombre de successeurs des différentes tâches.
- La première ligne contient le nombre de prédécesseurs des différentes tâches.
- Les autres éléments de la matrice donnent l'existence ou la non existence de liens entre les tâches.

EXEMPLE :

Soit un réseau, correspondant à un programme d'exécution, comportant 5 tâches numérotées de 1 à 5.

	0	1	2	3	4	5
0		0	1	1	1	2
1	1	0	1	0	0	0
2	2	0	0	1	0	1
3	1	0	0	0	1	0
4	1	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	0

-raphe (1,0)= 1 : la tâche n°1 possède un successeur (tâche n°2);

-raphe (0,5)= 2 : la tâche n°5 possède deux prédécesseurs (tâches n°2 et n°4);

*CARAC : Tableau comprenant 7 colonnes et m lignes (nombre maximum de tâches) :

-La première colonne permet de détecter l'existence des tâches.

EXEMPLE :

si la tâche n°i existe $\text{carac}(i,0)=1$
si elle n'existe pas $\text{carac}(i,0)=0$.

$\text{carac}(i,1)$: durée de mise en oeuvre de la tâche n°i, $i=1,n$.

$\text{carac}(i,2)$: date de début au plutôt de la tâche n°i.

$\text{carac}(i,3)$: date de début au plutard de la tâche n°i.

$\text{carac}(i,4)$: marge total de la tâche n°i.

$\text{carac}(i,5)$: marge libre de la tâche n°i.

$\text{carac}(i,6)$: date de fin au plutôt de la tâche n°i.

$\text{carac}(i,7)$: date de fin au plutard de la tâche n°i.

ANNEXE 5

ALGORITHME

-ETAPE 1 :

Initialiser à zéro la variable de test (cord 1).

-ETAPE 2 :

A travers le traitement 'PERT', initialiser les matrices raphe (contenant les liens entre les différentes tâches) et carac (contenant toutes les caractéristiques d'une tâche à savoir : sa durée de mise en oeuvre, ses dates de début au plutôt et au plutard, ses marges, ...).

-ETAPE 3 :

-Si le fichier de données existe, récupérer le à travers le traitement récupération.

-Sinon introduiser les données.

-ETAPE 4 :

Traitement menu, permet le passage d'un traitement à un autre.

Choisir entre neuf traitements (Etape 5 à Etape 13).

-ETAPE 5 :

-Calculer les dates de début au plutôt et au plutard.

-Calculer les marges.

-Déterminer les tâches critiques.

-Calculer la durée final des travaux.

Aller à l'etape 4.

-ETAPE 6 : procédure 'pluscontrainte'

-Ajouter une contrainte;

-Vérifier la cohérence du réseau;

-Aller à l'étape 4.

-ETAPE 7 : procédure 'moinscontrainte'

-Enlever une contrainte;

-Vérifier la cohérence du réseau;

-Aller à l'étape 4.

- ETAPE 8 : procédure 'tâchemoins'
 - Enlever une tâche;
 - Vérifier la cohérence du réseau;
 - Aller à l'étape 4.

- ETAPE 9: procédure 'tâcheplus'
 - Ajouter une tâche;
 - Vérifier la cohérence du réseau;
 - Aller à l'étape 4.

- ETAPE 10 : procédure 'modifdurée'
 - Modifier la durée d'une tâche;
 - Aller à l'étape 4.

- ETAPE 11 : procédure 'graphe'
 - Si $card1 = 0$ ordonnancer le réseau par niveau faire $card1 = 1$ et dessiner le graphe;
 - Si $card1 = 1$ dessiner le graphe;
 - Aller à l'étape 4.

- ETAPE 12 : procédure 'sauvegarde'
 - Sauvegarder le fichier;
 - Aller à l'étape 4.

- ETAPE 13 : FIN.

