

وزارة التربية الوطنية  
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

Génie Industriel

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE - المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## PROJET DE FIN D'ETUDES

### SUJET

Elaboration et adaptation d'un  
modèle et d'une méthode de  
planification dans un environnement  
instable. Cas E.R.M.A.

Proposé par :

E. R. M. A.

Etudié par :

M<sup>r</sup>. BERRAHOUI Mourad  
M<sup>r</sup>. HADJAD Malek

Dirigé par

M<sup>r</sup>. BELAID

PROMOTION

Join 1993

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE AUX UNIVERSITES

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
( EL HARRACH E.N.P )

SPECIALITE : GENIE INDUSTRIEL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
École Nationale Polytechnique

# PROJET DE FIN D'ETUDE

**THEME**

**ELABORATION ET ADAPTATION  
D'UN MODELE ET D'UNE METHODE  
DE PLANIFICATION DANS UN  
ENVIRONNEMENT INSTABLE  
CAS E.R.M.A**

PRESENTE PAR :

Mr: BERRAHOUI MOURAD

Mr: HADDAD MALEK

DIRIGE PAR:

Mr: **CH. BELLAÏB**

Promotion: 93

DEPARTEMENT :

GENIE INDUSTRIEL



PROJET DE FIN D'ETUDE

ملخص

إن عملنا يتمثل في ايجاد نموذج مثالي لتخطيط الإنتاج: أولاً، قد قمنا بتصريف أشغال تجديد طائرة قتالية من طراز MIG-24، في هذا الإطار طبقنا طريقة PERT TIME لكنه تبين أن هذا الأخير ليس كافياً بمفردها. لهذا أضفنا لها برنامج هيروستيكي كغالب لهذا العجز. ثانياً، انتقلنا إلى طريقة M.R.P. وكتفيناها لإمكانية تطبيقها في شركة E.R.M.A. وهنا ظهرت إشكالية "همزة وصل" بين PERT/MRP التي أخذنا بعين الاعتبار.

Abstract :

Our work is concerning by elaboration of typical model of production planning : At first time, we schedule jobs of fight-airplane's renovation activities. In this perspective, we applied PERT-Time method. This wasn't sufficient, so we elaborated an heuristic program in order to resolve this problem. In second time, we adapted MRP method in order to plan replenishment orders of items.

Thus, appeared the interface problem that we assumed.

Resumé :

Notre travail consiste, dans un premier temps, à ordonnancer une chaîne de rénovation d'un avion de chasse, et à améliorer la planification des besoins en composants. Pour cela, nous avons appliqué la méthode PERT-Temps, à laquelle nous associons une heuristique pour la prise en considération de la disponibilité effective en ressources, et défini la procédure de mise en œuvre de la méthode MRP.

Dans un deuxième temps, résultant de l'association de ces deux méthodes, apparaît le problème d'interface que avons pris en charge.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

CE TRAVAIL EST DEDIE

A LA MEMOIRE

DE MOHAMMED BOUDIAF

DEDICACES (bis)

A mes Parents ,

à SAMIA et à MALIKA ,

pour leur patience, aide, présence, soutien,...

Aux Ami(e)s, les vrais, et en particulier

à MOUMEN, pour . . . beaucoup de raisons.

Malek

DEDICACES

A mon très chér père et à ma très chère grand-mère à qui  
je souhaite un prompt rétablissement.

A ma très chère mère.

A mes très chers frères KAMEL et DIDENE.

A mes très chères sœurs.

A tous mes amis HAMID, KAMEL, ABDELOUHAB, ALI, HOCINE,

REDA,

Je dédie ce travail.

MOURAD

# S O M M A I R E



Introduction	1
Présentation de la problématique	3
L'Entreprise de Rénovation de Matériel Aéronautique	8
<i>Première partie:</i>	
Ordonnancement	
Section 1: Théorie	15
Section 2: Application du PERT-Temps	25
Section 3: Amélioration du PERT-Temps	28
<i>Deuxième partie :</i>	
Planification des besoins en composants	
Section 1: Théorie de la M.R.P.	39
Section 2: Adaptation de la méthode M.R.P.	53
Section 3: Mise en oeuvre de la méthode M.R.P.	57
<i>Troisième partie :</i>	
Interface P.E.R.T./M.R.P.	62
CONCLUSION	66

REMERCIEMENTS  
.....

Au terme de ce travail nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde reconnaissance à :

Monsieur BELAÏD, enseignant à l'Institut Supérieur de Gestion et de Planification, qui a bien voulu diriger ce travail, ne nous ménageant ni son temps ni son aide .

Monsieur le Capitaine IBOU, sans la collaboration duquel ce travail n'aurait pu être mené à bien, n'a cessé de nous prodiguer conseils et encouragements

Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Madame BELMOKHTAR, Mademoiselle ABOUN et Monsieur BOUZIANE, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger notre travail et pour la qualité de leur enseignement . Leurs critiques fructueuses ont constitué la charpente de notre enseignement en Génie Industriel.

Monsieur SARI, enseignant à l'Ecole Nationale Polytechnique, pour avoir bien voulu nous apporter aide et orientation.

Nous remercions également très vivement tout le personnel de l'E.R.M.A. pour leur disponibilité constante, et plus particulièrement, Messieurs le Capitaine DRISS, BOUSSOUF Rabah et SIABDERRAHMANE.

Cette page de remerciements serait incomplète si notre profonde gratitude envers nos Amis Christian et Boualem, du département de Recherche Opérationnelle de l'U.S.T.H.B., qui nous ont beaucoup aidé, n'était exprimée ici.



INTRODUCTION

## INTRODUCTION :

"Rien ne sert de réparer, il faut maintenir à temps".  
Telle pourrait être la devise de la maintenance aéronautique.

L'exploitation d'un matériel aéronautique volant exige la garantie du maintien des performances et des caractéristiques de chacune de ses parties et de chacun de ses sous-ensembles, dans des conditions données, pendant un temps donné.

Outre des mesures de prévention et d'ergonomie intégrées dès la conception, comme par exemple, l'existence de systèmes auxiliaires ou la forme des manettes de commande, la sécurité du vol d'un avion est assurée principalement par la fonction maintenance préventive.

Dans le cadre de cette dernière on peut opérer:

- en fonction d'un évènement défini préalablement et révélateur de l'état de dégradation de l'élément considéré: il s'agit de la **maintenance conditionnelle**.

-selon un échancier établi d'après le temps d'utilisation exprimé en heures de vol: c'est la **maintenance systématique**.

A ces interventions, s'en ajoutent d'autres non prévues, qui sont la conséquence d'incidents divers: on parlera ici de **maintenance corrective**.

Alors que, comme la panne, les maintenances corrective et conditionnelle sont aléatoires, la maintenance systématique est prévue et doit même être largement planifiée.

C'est l'adaptation des méthodes de planification de ce type de maintenance que prennent en charge les travaux de notre mémoire.

Après une présentation de notre "Problématique", nous décrivons: "L'Entreprise de Rénovation de Matériel Aéronautique", cadre de notre étude.

Dans une première partie : "ORDONNANCEMENT" nous exposons les méthodes que nous avons utilisées pour ordonnancer les travaux d'entretien de l'avion de chasse MIG-21.

Puis, dans une seconde partie : "PLANIFICATION DES BESOINS EN COMPOSANTS" nous décrivons nos travaux d'adaptation de la méthode M.R.P.(Material Requirement Planning) à l'entreprise.

Enfin, dans une troisième partie : "INTERFACE" nous relevons le problème de cohérence entre ces deux méthodes.

Nous regroupons dans la partie "OBSERVATIONS FINALES" des remarques et suggestions issues de notre travail d'analyse, et des conclusions où sont mises en relief les conséquences des différentes attitudes adoptées.

## PRESENTATION DE LA PROBLEMATIQUE:

Parmi les missions de la Défense Nationale, la maîtrise de l'air est primordiale. La disponibilité des aéronefs de l'Armée de l'Air doit être maximale.

Pour effectuer leurs missions, sans défaillance, dans des conditions opérationnelles données, pendant un temps donné, ces aéronefs ont besoin d'une infrastructure d'entretien. C'est dans ce créneau qu'intervient l'Entreprise de Rénovation de Matériels Aéronautiques (E.R.M.A.) .

L' E.R.M.A. est dotée du statut d'Entreprise Publique à caractère Industriel et Commercial (E.P.I.C.) sous tutelle du Ministère de la Défense Nationale qui est son principal client.

Depuis la création de l'Entreprise, la tutelle a effectué d'importants investissements, en matériels et en formation du personnel. Ceci a permis à l'E.R.M.A. d'acquérir la maîtrise technique et technologique du processus de maintenance aéronautique, ainsi que celle des travaux mécaniques de haute technologie. Elle diversifie ses activités en effectuant des travaux de sous-traitance mécanique pour le compte de nombreux organismes publics et privés.

Dans le cadre de l'accomplissement de sa mission principale de rénovation d'aéronefs militaires (avions et hélicoptères) l'E.R.M.A. est capable d'intervenir à la fois sur la structure des appareils (cellule) et sur tous les sous-ensembles et équipements : moteurs, armements, radars,...

Cette polyvalence dans l'intervention provoque une forte interaction entre plusieurs processus, différentes techniques, et une multitude d'acteurs qui influent les uns sur les autres. Une telle complexité entraîne des

incertitudes quant à la formalisation de la prévision et quant à l'organisation des activités à réaliser, mais aussi, participe à l'alimentation en partie de cette incertitude, ce qui a pour effet direct certains dysfonctionnements.

En effet, apparaissent fréquemment au sein de l'entreprise:

- des durées d'immobilisation des aéronefs plus importantes que celles établies par les normes-constructeurs,
- des délais non tenus voire impossibles à tenir,
- des arrêts fréquents au cours d'une même phase de rénovation par manque chronique de matière et composants,
- des ruptures de stock d'un composant malgré un stock surabondant pour d'autres composants.

De plus, l'ajustement et la coordination du travail en atelier, sont le plus souvent assurés par un empirisme qui relève plutôt de l'expérience que d'une quelconque technique de planification.

A ces réalités, s'ajoute l'inertie dans les décisions, entraînant une lenteur de réaction face à l'imprévu, d'où, difficulté de planifier la production.

Enfin, l'environnement économique des entreprises, privées ou publiques, est de plus en plus contraignant et les oblige à améliorer leur rentabilité. L'E.R.M.A. affronte ce contexte difficile sans renoncer à offrir un produit de qualité et le meilleur service possible.

Car, en tout état de cause, la rénovation aéronautique militaire doit pouvoir, en temps de paix, être assurée à un coût minimum et, en temps de crise, réagir avec souplesse et efficacité, ce qui suppose une réserve de capacité.

Apparaît ainsi un double objectif:

- Maîtriser les coûts et surtout les délais.
- Etre capable de pallier aux " aléas " de la demande et de l'offre, en gérant l'activité de l'entreprise dans un "cadre planifié des besoins". Car la disponibilité de

certaines références, lors d'une même phase du processus de rénovation, n'a pas d'utilité en dehors de la disponibilité simultanée des références associées.

De là résultent trois priorités, partiellement contradictoires: diminuer les délais d'immobilisation des appareils, rentabiliser les moyens de production, immobiliser le minimum de stock. Il faut donc déterminer un compromis acceptable entre ces priorités. C'est à ce niveau que se situe notre intervention.

Il a été tout d'abord nécessaire d'adopter une démarche volontariste visant à diminuer le rapport des données incertaines aux données certaines.

Cette démarche est caractérisée par:

- l'amélioration de l'approvisionnement en composants et la synchronisation de celui-ci avec l'ensemble du processus de rénovation. Pour cela, nous avons utilisé une méthode de planification à moyen terme: la **méthode M.R.P.**

- l'optimisation, à court terme, du processus de rénovation de l'avion de chasse MiG-21, ce que nous avons cherché à réaliser grâce à la **méthode P.E.R.T.** La gestion des ressources communes, humaines et matérielles, étant dynamique et la méthode PERT étant une approche mal adaptée à ce type d'environnement, nous lui avons associé une heuristique, afin de tenir compte de la disponibilité limitée de ces ressources.

Ceci implique, indirectement, la nécessité d'une prise en charge de l'articulation moyen terme/court terme.

Ce mémoire s'efforcera de formaliser une telle démarche, et plus précisément l'articulation, (i.e.: l'"interface"), entre la méthode M.R.P. et la méthode P.E.R.T.

Le long terme, relevant de la stratégie générale de l'entreprise, ne sera pas abordé ici.

D'autre part, bien que participant à l'efficacité globale de la maintenance, et donc relevant d'une certaine manière de notre étude, la Gestion des Ressources Humaines ne sera pas non plus traitée, l'objet de notre mémoire visant à l'application de la méthode PERT pour l'ordonnancement de la chaîne de rénovation d'un avion de chasse (le MiG-21), et à l'adaptation de la méthode MRP à l'entreprise ERMA. Les problèmes d'interface PERT/MRP qui en ressortent, sont mis en relief pour une meilleure analyse de cette interface, afin de permettre d'assurer la cohérence entre ces deux méthodes.

## LE CADRE DE L'ETUDE :

### L'Entreprise de Rénovation de Matériel Aéronautique

#### I-Présentation de l'entreprise d'accueil, l'E. R. M. A.

##### I-1/Le cadre:

L'Entreprise de Rénovation de Matériel Aéronautique (E.R.M.A.), sise à Dar-El-Beïda, Alger, a été créée en 1992, suite au regroupement de tous les établissements et centres relevant du commandement des forces militaires aériennes et chargés de la maintenance aéronautique.

Elle est dotée du statut d'Entreprise Publique à caractère Industriel et Commercial (E.P.I.C.).

##### I-2/Description structurelle et fonctionnelle:

L'E.R.M.A. est une Entreprise sous tutelle du Ministère de la Défense Nationale. Ses missions essentielles sont:

- la maintenance aéronautique,
- l'assistance technique des "bases" de l'Armée de l'Air,
- la fabrication de pièces mécaniques en réponse à des commandes (extérieures ou intérieures).

Cette Entreprise est dotée d'une autonomie financière.



L'organisation générale de l'E.R.M.A. est conçue sur la base:

- d'une Direction générale, elle même composée:

- d'un département contrôle de gestion et informatique,

- d'un département sécurité industrielle,

- d'un département contrôle technique,

- des structures fonctionnelles ayant pour mission d'orienter, de contrôler et d'assumer les activités qui leur sont rattachées. Ce sont :

- la Direction des Ressources Humaines,

- La Direction Financière,

- la Direction Technico-commerciale,

- la Direction Technique,

- et des unités :

- une unité de fabrication diverses en mécanique générale,

- une unité de maintenance des équipements industriels,

- une unité de fabrication spécifique en mécanique générale,

- une unité de maintenance moteur,

- une unité de réparation d'équipements d'aéronefs,

- une unité de rénovation d'avions de transport,

- une unité de rénovation d'aéronefs de combat.

(Cf. Annexe N°5 : Organigramme de l'E.R.M.A.)

I-3/Domaines d'activité et moyens:

L'E.R.M.A. est spécialisée dans la rénovation aéronautique. Elle dispose de moyens très importants, tant sur le plan Ressources Humaines qu'en parc et matériel. Ce qui d'une part, pèse sur les coûts de production mais, d'autre part, permet à l'Entreprise d'avoir la possibilité de diversifier ses produits.

Elle réalise sur commande :

- des outillages de haute précision,
- des outils spéciaux,
- des matériels de servitude,
- des traitements spéciaux (chimiques ou mécaniques) pour certains aciers.

Devenue E.P.I.C., l'Entreprise, confrontée directement aux réalités économiques, s'est définie de nouveaux objectifs :

- une meilleure rentabilité des investissements déjà réalisés;
- une gestion plus rationnelle de la consommation de pièces de rechange, et de matières premières, liées à ses activités;
- une réduction des délais de rénovation, tout en améliorant sa qualité;
- le développement des fonctions d'entreprise: Finances, Ressources Humaines, Commerciale.

La visée ultime de ces efforts demeure la mise en place d'une structure de contrôle de gestion, dans le but de mettre en relief les principaux dysfonctionnements, et ainsi réussir à mieux les prendre en charge. Dès lors, l'efficacité de l'action visant à une réduction globale des coûts du travail de maintenance des appareils volants, se trouve renforcée.

I-4/L'Unité Rénovation d'Avions de Combat et d'Hélicoptères:

Elle est composée de :

- l'atelier Equipements électriques/Instruments de bord.
- l'atelier Radar
- l'atelier Radio
- l'atelier Accessoires
- l'atelier Armements
- l'atelier Fabrication mécanique et Traitements spéciaux

- le Laboratoire
- le Hall de Montage dont dépendent les ateliers "Chaudronnerie", "Lavage/Décapage", "Réparation Commandes", "Peinture" et "Réparation verrière". Il est lui-même subdivisé comme suit :

- la chaîne-21
- la chaîne-23
- la chaîne Hélicoptères

## II-Description de la procédure de rénovation du MiG-21:

L'E.R.M.A traite trois types de MiG-21 :

- le MiG-21 série 75 (ou MF) /Interception,
- le MiG-21 série 96 (ou Bis)/Reconnaissance-appui tactique,
- le MiG-21 série 69 (ou Sparka)/Biplace d'entraînement.

Leur durée de vie est variable. Elle est fonction du type de l'avion et de sa version, ainsi que des conditions d'utilisation. Elle s'échelonne entre 2400 et 3600 heures de vol, soit environ 30 années de service.

Les types d'intervention possibles sur les appareils, sont:

- la Réparation Partielle (RP) où les travaux de maintenance sont réalisés suivant la demande et la priorité. En général, ce sont des interventions "hors-chaîne".

- la Rénovation Moyenne (RM) où les efforts sont concentrés sur les parties les plus sensibles ;

- la Rénovation Générale (RG) où le "désossement" total est effectué.

Pour sa part, l'E.R.M.A. pratique un autre type d'intervention que nous appellerons : Rénovation Intermédiaire (RI). C'est une sorte de RM approfondie. L'E.R.M.A. la met en oeuvre pour des raisons pratiques.

En effet, le travail relatif à la RM demande beaucoup de moyens, et impose des délais d'immobilisation importants. Quant à la RG, elle n'est pas rentable dans les conditions actuelles. Les moyens n'étant pas suffisants pour traiter à la fois plusieurs aéronéfs.

Par rapport à la RM, et pour une mobilisation de moyens équivalents, le recours à la RI permet donc d'augmenter, d'une façon notable, les écarts entre immobilisations successives du même appareil.

Entre chaque R.I. s'écoulent de 650 à 850 heures de vol, soit environ dix ans. Au bout de trois R.I. l'avion est réformé. (Cf.Tab.II-1)

**\*TABLEAU II-1: Potentiel horaire du MiG-21.**

Séries	Potentiels	
	de vie(*)	entre réparations(**)
69	3600h	de 750 à 850
75	2400h	de 750h à 850h
96	3000h	de 550h à 650h

Source: E. R. M. A. (1993).

(\*) ou trente ans maximum.

(\*\*) ou de dix ans maximum.

La chaîne-21 se décompose en sept (07) postes de travail:

- 1/Réception-Inspection préliminaire;
  - 2/Démontage;
  - 3/Lavage/Décapage-Ventilation;
  - 4/Inspection approfondie-Réparation;
  - 5/Recomplettement-Montage;
  - 6/Mise au point;
  - 7/Essais et contrôles finals.
- (Cf. Annexe N°5bis : Organigramme\_Chaine-21).

Lors des rénovations, c'est l'avion qui se déplace entre ces postes .

Au niveau de chaque poste il existe des "canevas", c'est à dire des feuilles précisant les opérations à réaliser lors de chaque phase du processus de rénovation. Le responsable de chaque poste est tenu d'y indiquer le nom de l'agent qui a réalisé ladite opération. Ceci permet un contrôle systématique de l'état d'avancement des travaux et celui de leur réalisation effective.

L'effectif travaillant directement sur la chaîne-21 est de 38 personnes.

## *Section 1: Théorie*

### **I - Introduction:**

Il y a problème d'ordonnancement lorsqu'un ensemble de travaux à réaliser est décomposable en tâches interdépendantes.

Cette interdépendance résulte de relations portant directement sur les caractéristiques temporelles ou de relations concernant l'affectation des moyens nécessaires et leurs possibilités d'utilisation.

Les problèmes d'ordonnancement ainsi définis, concernent de nombreux domaines: la construction (suivi de projet), l'informatique (détermination des priorités en environnement multiprocesseur), l'industrie mécanique (gestion multiprojets) et, l'ordonnancement d'un "processus de rénovation aéronautique".

A ce jour seules sont appliquées industriellement les méthodes simples -comme par exemple, les méthodes C.P.M./P.E.R.T.- mais, elles ne permettent de traiter rigoureusement que les modèles les plus simples. Nous considérons toutefois que les travaux entrepris en ce sens permettent de sérier les difficultés.

### **II - Notions de base:**

Les principaux paramètres d'un problème d'ordonnancement sont:

- les tâches,
- les ressources (consommables, non consommables).
- les contraintes (potentielles, cumulatives et disjonctives).

La représentation graphique des résultats de cet ordonnancement est le "réseau".

## II-1/Le réseau:

<< On appelle réseau, un graphe fortement connexe sans boucles. L'entrée du réseau est le sommet dépourvu de prédécesseurs et la sortie, le sommet dépourvu de suivants.>>

## II-2/Les tâches:

C'est le déroulement dans le temps d'une opération. Une tâche consomme une durée de temps et nécessite une (ou des) ressource(s). Elle n'apparaît qu'une seule fois dans le "réseau".

*Ces tâches peuvent être liées par des contraintes et des étapes, et nécessitent des ressources.*

## II-3/Les ressources:

Ce sont les moyens (humains ou matériels) requis pour l'exécution des tâches.

Elles peuvent être:

\* **renouvelables**: après la fin de leur allocation à une tâche, elles redeviennent disponibles pour les autres tâches, ou

\* **consommables**: allouées à une tâche, elles ne sont plus disponibles pour la suite du programme.

## II-4/Les contraintes:

### 4.1/Les contraintes potentielles:

\* Les contraintes de **localisation temporelle**: la tâche *i* doit être achevée à une date donnée (date de libération d'une ressource), ou son exécution ne doit pas commencer avant une certaine date (date de disponibilité d'une ressource).

\* Les contraintes de **succession**: l'exécution d'une tâche *j* ne peut débuter que lorsqu'une autre tâche *i* (ou groupe de tâches) est (sont) achevée(s)

ou se trouve(nt) à un certain degré d'avancement dans l'exécution.

#### 4.2/ Les contraintes cumulatives:

Une contrainte cumulative apparaît entre un couple de tâches, lorsqu'une même ressource est requise pour la réalisation de ces tâches d'une manière simultanée.

#### 4.3/ Les contraintes disjonctives:

<<Un couple (resp. un ensemble) de contraintes est dit "disjonctif" si l'une et l'une seulement des contraintes de ce couple (resp. de cet ensemble) doit être satisfaite.>>.

Elles imposent, donc la réalisation non simultanée d'une paire de tâches  $i$  et  $j$ .

Si pour ces tâches  $i$  et  $j$ ,  $t_i$  et  $t_j$  désignent respectivement leur dates de début, et  $d_i$  et  $d_j$  leurs durées d'exécution, une contrainte disjonctive s'écrit:

$$[t_i, t_i + d_i] \cap [t_j, t_j + d_j] = \emptyset$$

#### II-5/ Les étapes:

C'est l'instant qui correspond au début ou à la fin d'une ou de plusieurs tâches. L'étape n'a pas de durée et doit respecter les conventions suivantes:

- deux étapes sont reliées par une seule tâche,
- une étape est atteinte lorsque toutes les tâches convergentes sont réalisées.

Il en résulte:

- qu'une étape, n'apparaît qu'une seule fois sur le graphe du réseau,
- qu'une tâche ne peut débuter que lorsque son étape initiale est atteinte.

Enfin, il faut programmer les tâches de façon à répondre, à trois types d'objectifs:

- utilisation effective des ressources,
- délai d'achèvement du projet le plus faible possible,



- identification des ressources critiques.

### III - Méthodes d'ordonnement:

Il existe différentes méthodes d'ordonnement que l'on peut regrouper en classes:

- les *méthodes classiques* qui concrétisent graphiquement sous forme de diagramme dit de GANTT la solution obtenue par accumulation des temps de production,
- les *méthodes par réseaux* qui trouvent leur base théorique dans la théorie des graphes (par ex. la méthode P.E.R.T. );
- les *méthodes basées sur les méthodes de programmation linéaire et dynamique* dont un certain nombre d'entre elles (Simplexe, Branch & Bound,...) ont pour objet de définir en fonction de critères (par exemple: coût et délais) la succession optimale des ordres de travail à différents postes communs aux gammes particulières.
- les *méthodes de simulation* qui permettent de reproduire expérimentalement un grand nombre de variantes de la situation étudiée.

L'apport de l'informatique est non négligeable vu la complexité des situations étudiées, surtout pour simuler diverses solutions possibles.

Les principes d'ordonnement étant quasi identiques dans ces diverses techniques, nous utiliserons la plus répandue de ces techniques, en l'occurrence le PERT à laquelle nous associons le diagramme de GANTT pour la représentation des résultats du réseau obtenu grâce à cette méthode.

#### III-1/"Du diagramme de Gantt au réseau PERT"

Coordonner à l'avance, c'est spécifier à **quel moment** et **dans quel ordre** l'utilisation d'un ensemble défini de moyens est employé pour exécuter une tâche donnée.

La méthode généralement adoptée pour représenter la solution est celle des graphiques de GANTT.

### 1.1/Méthode des Graphiques de GANTT: (Origine et principe)

C'est une méthode mise au point et développée par H.L. GANTT et TAYLOR en 1885.

Son originalité consiste à représenter les ordres de travail sous forme d'un tableau à double entrée, reprenant en abscisse le temps et en ordonnée les postes de travail (à raison d'une ligne par poste ou par groupe de postes semblables). Chaque "ordre de travail" est représenté par une "barre" positionnée sur la ligne correspondant au poste utilisé et dont la longueur est proportionnelle à la durée de la tâche à réaliser à ce poste.

Si les principes de la méthode de GANTT peuvent donner toute satisfaction dans les configurations très simples, il n'en est malheureusement pas de même quand il s'agit de suivre le déroulement des opérations d'un processus aussi complexe que celui de rénover un avion de chasse supersonique.

Il deviendrait inutilisable si l'on voulait y faire figurer à la fois, l'avancement des travaux et, les modifications éventuelles dans les relations de dépendance. Ainsi, il est nécessaire d'utiliser des méthodes plus efficaces.

La première idée consiste à conserver du graphique à barres les seules relations de dépendance existant entre les activités, ceci indépendamment de leur durée d'exécution, et d'élaborer une représentation graphique qu'il est convenu d'appeler graphe "Etapas-Tâches" de type PERT (Program Evaluation and Research Task).

Toutefois, le diagramme de GANTT donne une visualisation synthétique à la fois, du "planning" prévisionnel, et de son degré de réalisation, c'est à dire du "suivi". Il reste donc, très efficace pour la REPRESENTATION DE LA "SOLUTION DU PROBLEME D'ORDONNANCEMENT".

## 1.2/Méthode P.E.R.T.:

### 2.1/Origine:

C'est vers 1957, aux Etats Unis d'Amérique, que **KELLY ET WALKER** ont mis au point cette méthode d'ordonnancement pour piloter le projet POLARIS du Pentagone.

### 2.2/Principe:

La technique des plannings PERT est essentiellement une application de la théorie des graphes à l'ordonnancement des tâches d'un projet donné. Les *sommets* du graphe représentent les "étapes", et les *arcs* indiquent les tâches et leurs relations d'antériorité. Les arcs sont valués par les délais d'exécution.

Un planning PERT permet :

- de traduire la logique d'un projet: il s'agit de recenser l'ensemble des tâches pour réaliser le "projet" et surtout, de définir leur enchaînement (sans circuit),
- de prévoir la durée totale du projet et plus particulièrement, la suite des tâches critiques dont la somme des durées donne cette durée totale.

Le but est de focaliser l'attention sur les seules tâches qui conditionnent la durée totale du projet.

### 2.3/Analyse du graphe: Marge et Flottement.

La durée d'exécution du projet est égale à la valeur du chemin, telle que, toutes les opérations nécessaires à sa réalisation soient réalisées.

Ce chemin est appelé le **chemin critique**.

Les tâches composant ce chemin sont dites: **tâches critiques**.

La détermination d'une période de temps durant laquelle une tâche doit être exécutée dépend des dates de ses étapes finale et initiale. Recensons ces dates.

\*La date au plus tôt ( $t_i$ ) est la date avant laquelle l'événement  $E_i$  ne peut être réalisé.

\*La date au plus tard ( $t'_i$ ) est la date au-delà de laquelle, tout retard dans l'exécution de l'événement  $E_i$ , se répercute d'autant sur la durée totale du projet.

*La date du début de réalisation au plus tôt* d'une tâche est égal à la *date au plus tôt* de son étape initiale.

*La date de début de réalisation au plus tard*, est égale à la *date au plus tard* de son étape initiale.

La *marge* d'une étape est la différence entre sa date au plus tard et sa date au plus tôt.

Le **chemin critique** est localisé sur le chemin qui joint les étapes dont la marge est nulle; il peut exister plusieurs chemins critiques.

L'*intervalle de flottement* de l'événement  $E_i$  est égal à la période comprise entre sa date au plus tôt et sa date au plus tard. Pour les événements critiques, dates au plus tôt et dates au plus tard se confondent. Leur intervalle de flottement est donc nul.

Il est aussi intéressant de connaître, pour une tâche non critique:

**La marge totale:** C'est le retard maximal que la date de début d'une tâche peut avoir, sans modifier la durée totale d'exécution:

$$M_i = t'_i - t_i - d_{ij}.$$

avec  $d_{ij}$ , la durée de la tâche  $(i, j)$ .

**La marge libre:** durée dont une tâche peut s'allonger sans affecter les dates de début au plus tôt des tâches suivantes:

$$m_i = t_j - t_i - d_{ij}.$$

**La marge certaine:** correspond au délai, s'il existe, dont on dispose pour l'exécution d'une tâche

quand les tâches *prédécesseurs* commencent à leur *date au plus tard* et les tâches *successeurs* à leur *date au plus tôt*

$$u_{i,j} = \max \{ 0, \min (t_j - d_{i,j}) - \max (t'_i + d_{i,j}) \}$$

*Le flottement donne, comme la marge, une mesure de la faisabilité du projet dans le délai imparti.*

*NB: La marge représente des ressources sous-utilisées, mais elle représente aussi de la "souplesse", dont le manque pourrait susciter un état de crise pouvant être évité si on disposait de cette marge.*

### III-2/Estimation des "temps" et loi de probabilité:

#### 2.1/Utilisation de la loi de probabilité Beta

Dans de nombreuses situations, il est malaisé de fixer de façon précise la durée d'exécution d'une tâche; ainsi, les temps (ou durées) assignés doivent tenir compte des circonstances particulières.

En effet, l'exécution d'une opération ne correspond pas toujours à des normes standards prédéfinies.

Pour cette raison, on utilisera un encadrement du temps, en donnant:

- le temps optimiste  $t_o$ , ou durée minimale suffisante pour l'exécution d'une tâche donnée si tout se déroule au mieux,

- le temps pessimiste  $t_p$ , ou durée maximale qui ne pourrait être dépassée pour la réalisation d'une tâche donnée et,

- le temps le plus probable ou modal  $t_m$ , qui est la durée la plus fréquente si on répète la tâche un grand nombre de fois dans les conditions habituelles de travail;

puis, on suppose, dans la méthode PERT, que les trois estimations du temps font partie d'une population obéissant

à la distribution  $\beta$ , et ensuite on en tire une espérance mathématique (durée prévisionnelle)  $t_e$  :

$$t_e = (t_o + 4t_m + t_p) / 6$$

et l'écart-type  $e$  :

$$e = (t_p - t_o) / 6$$

C'est le temps  $t_e$  qu'on utilise dans les calculs.

### 2.2/Estimation de la durée du projet:

La durée totale du projet à réaliser est donnée par le chemin critique. Dans le cas où l'on a  $N$  tâches critiques, la durée totale du projet sera donc:

$$T_t = \sum_{i=1}^N T(i)$$

avec  $T(i)$ : la durée prévisionnelle de la  $i^{\text{ème}}$  tâche critique

son écart-type est:

$$e_{\text{tot}} = \sqrt{\sum_i [e(i)]^2}$$

avec  $e(i)$  : l'écart-type de la  $i^{\text{ème}}$  tâche critique.

### 2.3/Probabilité de respecter le délai de réalisation

En supposant que:

- les durées des activités sont des variables aléatoires indépendantes;
- lorsque les durées sont aléatoires, le chemin critique restera toujours critique,

on applique le Théorème Central Limite.

Comme il s'agit de la sommation de  $n$  variables aléatoires ( $n > 100$ ) cette approximation se trouve possible.

Ainsi,

$$t \rightarrow N(T_t, e_{\text{tot}})$$

et,

$$Z = (t - T_t) / e_{\text{tot}} \rightarrow N(0, 1)$$

La probabilité  $p_r$  d'achever les travaux du projet "au plus tard" à la date D sera:

$$p_r = P[t < D] = P [ Z < ( (D - T_t) / e_t ) ]$$

avec Z définie plus haut.

Ces valeurs seront tirées de la table de la loi normale.

## Section 2: Application du PERT-TEMPS

### I - Introduction :

Pour résoudre notre problème, nous avons, dans un premier temps, adopté la méthodologie du P.E.R.T.-Temps exposée plus haut. Viendra ensuite, dans la section suivante, l'amélioration de cette méthode.

Pour celà, nous avons parcouru les étapes suivantes.

### II- Etablissement de la liste des tâches avec leurs relations d'antériorité :

Une première liste des tâches avec leurs antécédents, nous a été donnée par le service documentation. Mais cette liste était inutilisable pour les raisons suivantes :

- Elle n'était pas exhaustive. En effet, sur la liste manquaient plusieurs tâches qui, pourtant, consommaient beaucoup de temps;

- Elle comprenait des macro-tâches, c'est-à-dire que l'agrégation des tâches élémentaires était exagérée;

- Cette agrégation de tâches faussait les délais alloués.

Nous avons donc opté pour l'identification des tâches et l'évaluation de leur durée par le biais d'interviews.

Ce recensement par interviews, présente de nombreux avantages , mais aussi des inconvénients.

- Il permet au responsable interviewé de prendre conscience du déroulement de son intervention dans le projet,

- Il aide à identifier les responsabilités des intervenants et les articulations entre les macro-tâches qui forment des sous-systèmes.-

- Il permet au planificateur de comprendre les enchaînements entre macro-tâches qui lui sont nécessaires pour effectuer le suivi et le contrôle du planning.



### III - Estimation des durées :

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

- un temps optimiste
- un temps pessimiste
- un temps plus probable

Cette estimation est obtenue en consultant, tâche par tâche, l'exécutant de celle-ci.

Souvent, les valeurs des temps minimum et maximum étaient éloignées les unes des autres ( ce qui se traduit par une assez grande variance)<sup>1</sup>. En effet, le bureau d'ordonnancement de l'Entreprise n'ayant pas encore fixé les temps standards des tâches d'une manière définitive, la plupart des exécutants ne connaissent pas ces temps standards, du moins avec une précision suffisante.

### IV- Application :

L'utilisation du progiciel "Project", nous permet d'obtenir comme résultat:

#### IV.1 / Le réseau P.E.R.T.

Le réseau P.E.R.T. représente la succession logique des différentes tâches du projet : il fait ainsi apparaître le chemin critique.

Le chemin critique est composé de 48 tâches représentées en double trait sur le réseau. Ces tâches portent les numéros suivants:

1, 2, 3, 4, 6, 12, 18, 24, 29, 38, 51, 52, 58, 59, 64, 65, 73, 80, 134, 148, 177, 186, 189, 204, 205, 208, 210, 212, 213, 214, 215, 216, 218, 224, 231, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247.

<sup>1</sup> La liste des tâches avec leurs durées, figure en Annexe N°0.

#### IV.2 / Date prévisionnelle d'achèvement du projet :

Si la date de début des travaux est le 01/01/1993, la date d'achèvement sera 18/05/93, soit un délai d'achèvement de 99 jours ouvrables ( soit trois mois et neuf jours ).

De plus, pour chaque tâche, le progiciel Project nous donne aussi, la date de début et de fin, au plus tôt et au plus tard, de chaque tâche <sup>2</sup>.

#### IV.3/ Le diagramme de GANTT :

Le progiciel Project permet de visualiser sur l'écran le diagramme de GANTT, sur lequel les tâches critiques sont représentées par un double trait, et les battements par des pointillés.

#### CONCLUSION :

Dans cette partie, nous n'avons considéré que les contraintes d'antériorité entre les tâches. D'autres contraintes, telles que la disponibilité limitée des ressources humaines nécessaires à leur exécution n'ont pas été prises en compte.

Les résultats obtenus demeurent donc insuffisants et il faudrait dès lors les compléter. C'est ce que nous ferons dans la section suivante.

---

<sup>2</sup> Ces résultats figurent à l'Annexe N°6.

### SECTION 3 : Amélioration du P.E.R.T. -TEMPS

#### I - Introduction :

Les méthodes du chemin critique, qui supposent des ressources infinies, posent le problème d'ordonnancement des contraintes cumulatives qui leur sont liées.

En particulier, la méthode P.E.R.T. classique ne résoud pas le problème du conflit des ressources, dans la mesure où elle ne considère que les délais. C'est pourquoi on l'appelle aussi P.E.R.T-Temps [ 11 ].

Diverses améliorations, tenant compte de la disponibilité limitée des ressources ( humaines et matérielles ) des Entreprises, ont été apportées à cette méthode . Ces améliorations forment le P.E.R.T. - Charge. Le P.E.R.T.-Charge calcule, pour chaque période, les ressources nécessaires à l'exécution d'une tâche, les compare avec leurs disponibilités effectives, déplace les tâches le long de leur marge totale, ajoute des nouvelles contraintes entre tâches en conflit de ressources, et recommence une nouvelle simulation jusqu'à obtenir une solution satisfaisante.

La présente partie vise à automatiser ces opérations par souci de simplification, pour l'utilisateur final, de la mise en œuvre du P.E.R.T.

Enfin, comme le problème d'affectation de ressources est NP-complet<sup>3</sup>, il n'existe pas d'algorithme donnant la solution optimale. C'est pourquoi, plusieurs heuristiques ont été développées.

#### II - Application du P.E.R.T. -CHARGE :

Afin de mettre en œuvre le P.E.R.T.-Charge, nous recensons

---

<sup>3</sup> Cf. Annexe 1.

les ressources humaines disponibles au niveau du Hall de Montage et les besoins propres à chaque tâche, ainsi que les contraintes disjonctives qui leur sont liées.

A ce propos, nous avons assimilé les contraintes disjonctives à des ressources fictives. Par exemple, s'il est impossible que plus de deux opérateurs travaillent en même temps au niveau du logement du train principal, nous comptabilisons cette partie de l'appareil comme étant une ressource fictive disponible en quantité égale au nombre maximal d'agents pouvant travailler simultanément, c'est à dire deux.

## II.1 / Affectation manuelle des ressources :

Le progiciel "Project" permet de visualiser les histogrammes des différentes ressources humaines utilisées. Ce qui permet de rendre compte des dépassements de capacité quand elles ont lieu.

A partir de là nous trions les tâches suivant les valeurs croissantes de leur marge. Puis, nous déplaçons ces tâches le long de l'échelle du temps, l'une après l'autre, selon le tri établi précédemment. Nous recommençons cette opération jusqu'à parvenir à résoudre le problème du conflit des ressources. Cela peut d'ailleurs induire une meilleure répartition de ces ressources.

Mais cette méthode s'avère rapidement peu pratique pour les raisons suivantes :

L'utilisateur aura à intervenir continuellement lors de la mise à jour du P.E.R.T.-Temps.

La multitude des tâches ( 247 ), et celle des ressources ( 29 ) rend l'exécution manuelle très difficile, voire impossible, d'où la nécessité d'automatiser l'affectation des ressources.

## II.2 / Automatisation de l'affectation des ressources :

Plusieurs procédures ont été développées pour résoudre ce problème des contraintes cumulatives.

Les méthodes les plus utilisées sont les méthodes sérielles. Dans de telles méthodes, une heuristique permet de classer les tâches selon un ordre de priorité défini au préalable. On ordonnance les tâches à partir de l'instant zéro ; on réalise l'affectation, à une tâche choisie parmi les "tâches candidates", des ressources qui lui sont nécessaires, dès la "libération" de ces ressources.

Les tâches deviennent candidates à partir du moment où elles répondent aux deux critères suivants : toutes leurs tâches antérieures sont achevées et leur "besoin" en ressources, à l'instant  $t$  n'est pas supérieur à la quantité disponible.

Enfin, nous associons à cet ensemble de tâches candidates, un ou plusieurs ordres de priorité.

#### 2.1/ Hypothèses :

On peut les résumer ainsi :

i. Tous les opérateurs d'une même spécialité, ont la même habilité à exécuter une tâche donnée ( on ne tient pas compte de l'expérience de chacun ).

2i. Pour des raisons de sécurité, la préemption, c'est-à-dire le fait d'arrêter un opérateur pour qu'un autre commence, est interdite<sup>4</sup>.

#### 2.2 / Les ordres de priorité :

Selon BERNARD ET PAKER<sup>5</sup>, il existe de nombreux critères pour définir les ordres de priorité. Pour notre part, en raison des hypothèses citées au paragraphe précédent, nous retenons les deux ordres de priorité suivants :

i. les tâches peuvent être ordonnancées suivant leurs dates de début au plus tôt;

2i. les tâches peuvent être ordonnancées suivant les dates de fin au plus tard.

<sup>4</sup> N. B. : Ce choix est volontairement limité à ces deux hypothèses, de manière à traduire le plus fidèlement possible la réalité, et ainsi, rendre opérationnel l'algorithme de LISTE dans la majorité des cas.

<sup>5</sup> Cf. bibliographie, référence ( 3 ).

## II-3 / Algorithme de LISTE :

- Input - Output de l'algorithme -

/\* Définition de quatre ensembles de tâches : Ens1, Ens2, Ens3, Ens4 \*/

I : Ensemble de toutes les tâches ;

Ens1 : les tâches candidates à être exécutées à l'instant t ;

Ens2 : les tâches ordonnancées ;

Ens3 : les tâches en cours d'exécution ;

Ens4 : les tâches achevées ;

/\* Une procédure "priorité" a comme entrée :

- les dates au plus tard et les temps d'exécution des tâches (fournis par le P.E.R.T.-Temps) ;

- Ens1 ;

et comme sortie : la tâche prête à être exécutée \*/

/\* Une procédure "minimum" a comme entrée :

- les dates de fin au plus tard ;

- Ens3 ;

et comme sortie :

- l'instant Temps;

- l'ensemble des tâches qui s'achèvent à l'instant t \*/

/\* Une procédure "candidature" avec comme entrée :

- les tâches et leurs antécédants ;

- Ens2 ;

- Ens4 ;

et comme sortie : Ens1 \*/

### ALGORITHME

Début

TEMPS:=0;

I := Ensemble des tâches;

Ens2 := Ens3 :=Ens4 := [ ];

Tant que Ens2 < > I .Faire

/\* On détermine les tâches candidates à l'instant TEMPS.

Soit Ens1 cet ensemble \*/

Tant que Ens1 < > [ ] Faire

/\* On choisit la tâche la plus prioritaire selon  
un ordre déterminé auparavant \*/

i:= Ordre ( Ens1 );

Si on peut exécuter i alors

Début

Ens2:=Ens2 + [i];

Ens3:=Ens3 + [i];

Fin

Ens1:=Ens1 - [i];

Fin tant que

/\* On détermine parmi Ens3, les tâches qui  
s'achèvent en premier. Soit F cet ensemble \*/

TEMPS:= TEMPS + MIN { T (i) / i ∈ Ens3, T (i): Durée de i } ;

Ens3:=Ens3 - F;

Ens4:=Ens4 + F;

Fin tant que

Fin

## II-4 / Interêts et inconvénients des méthodes sérielles :

L'intérêt de ces méthodes est essentiellement leur simplicité. Elles permettent de construire facilement une solution réalisable puisqu'on utilise une ressource dès que cela est possible.

et les inconvénients sont :

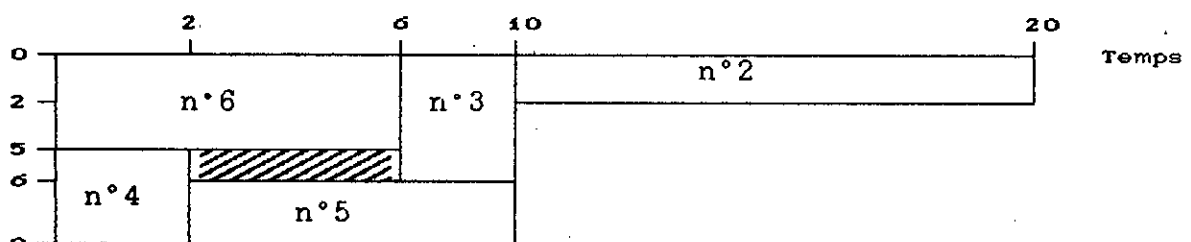
- on ne connaît pas la distance à l'optimum de la solution obtenue;

- la restriction du domaine des solutions provoquée par les méthodes sérielles, est telle que, si l'on veut minimiser la durée totale du projet considéré, la solution optimale n'appartient pas toujours au domaine des solutions générées par ces méthodes.

En effet, il est parfois plus intéressant de laisser une ressource inactive pour garder une certaine souplesse en vue de réaliser une tâche très urgente qui n'est pas disponible. C'est ce qu'illustre l'exemple suivant résumé dans le tableau ci après :

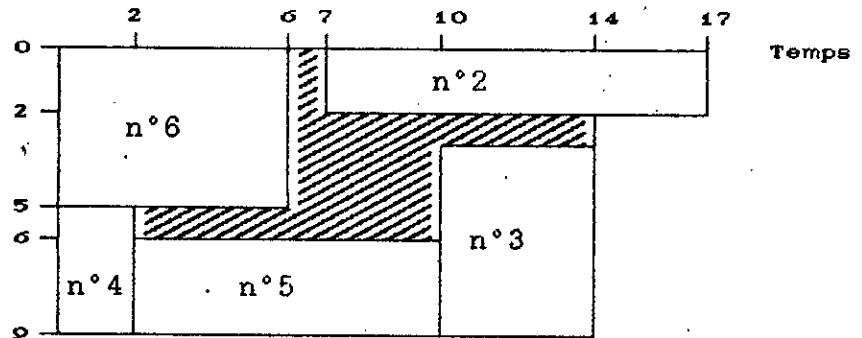
Tâches n°	2	3	4	5	6
Dates de disponibilité	7	2	0	2	0
Durées	10	4	2	8	6
Besoins en ressources	2	6	4	3	5

Solution donnée par la méthode des listes :





\*Solution optimale:



Les méthodes sérielles ne sont pas stables. En effet, si on augmente la quantité de ressources disponibles, la valeur de la durée totale de l'ordonnancement peut augmenter, alors que logiquement, elle doit diminuer ou, rester inchangée dans le pire des cas.

## II - 5/Etude de la complexité :

La complexité d'un algorithme se calcule de deux manières :

a- *Mesure expérimentale* : Malgré les difficultés relatives à la détermination d'échantillons représentatifs de problèmes, elle reste un moyen efficace pour nous informer sur le comportement moyen de l'algorithme. Pour cela, nous avons suivi la procédure suivante :

- choix d'un ensemble de nombre de tâches: ( de 10 à 240, avec un pas de 10 ) ;
- tâches numérotées dans un ordre topologique afin d'éviter un cycle dans le réseau généré aléatoirement.

Nous traçons un graphe avec :

- en abscisse : le nombre de tâches du problème,
- en ordonnée : le temps moyen de calcul requis pour résoudre une taille donnée (Cf. Fig. A p. 35).

A l'aide d'un ajustement polynomial, nous obtenons :

$$T(n) = 1.45 + 0.024 * n + 0.0054 * n^2$$

T( ) : le temps requis,

n : la taille du problème.

b- Décompte du nombre d'opérations : Cette méthode nous renseigne sur le comportement asymptotique de l'heuristique dans le pire des cas.

N.B. : le langage d'implémentation est le Turbo-Pascal version 5.5.

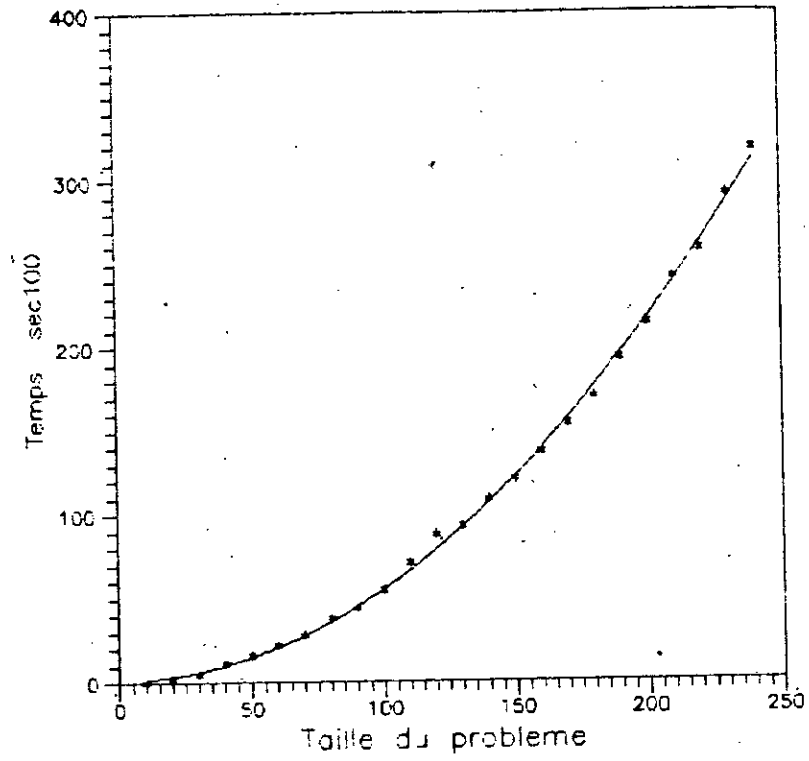


Fig. 6 : Complexité moyenne de l'heuristique.

En premier lieu nous donnons la structure de données :

N : le nombre de tâches,

M : le nombre total d'antécédants,

MBR : le nombre cumulé de ressources utilisées,

NBR : le nombre de types différents de ressources.

tels que:  $M > N$  ;  $MBR > NBR$  ;  $MBR > N$  ; (1)

- Deux tableaux de type REAL de dimension N, donnant respectivement la durée et la date au plus tard de chaque tâche,

- deux tableaux de type WORD de dimension N+1, indiquant pour chacune des tâches leurs antécédants et ressources respectifs.

- un tableau de type WORD de dimension M, donnant pour chacune des tâches ses antécédants,

- deux tableaux de type WORD de dimension MBR, indiquant pour chacune des tâches, respectivement, le type de ressources et la quantité nécessaire pour chacun de ces types,

- six variables dynamiques contenant chacune une sous liste de tâches.

En tenant compte:

-du tableau suivant:

Type	Nombre de bits ( Turbo-Pascal )
INTEGER	2 octets
REAL	6 octets
WORD	2 octets

-des relations (1) entre paramètres du problème, on trouve:  
la taille du problème <sup>1</sup>:

$$t \simeq 6 * N + 2 * M + 2 * MBR$$

avec t: taille du problème.

En décomptant le nombre d'opérations effectuées par le programme, on trouve:  $N.O \simeq N * M + N^2 + MBR * N$ .

avec: N.O: nombre d'opérations.

Dans le pire des cas ( cas d'un graphe complet sans cycle ):

$$M = \frac{N * (N-1)}{2}$$

<sup>1</sup> ( cf. Annexe N°1 )

En général, chaque tâche nécessite un seul type de ressources:

$$MBR = N$$

Il en découle alors:

$$t = O(N^2)$$

$$N.O = O(N^3)$$

il s'en suit :

$$N.O = O(t^{3/2})$$

En conclusion, nous pouvons dire que l'implémentation de notre heuristique est polynomiale d'ordre 3/2, dans le pire des cas.

#### Conclusion :

Dans l'hypothèse où il existe une capacité illimitée en "ressources" au sein de l'ERMA, les travaux d'entretien, en cette Entreprise, effectués sur un appareil de type MiG-21, nécessiteraient 99 jours ouvrables (résultats obtenus à l'aide du PERT-Temps, où cette capacité en ressources est considérée comme illimitée).

Pour prendre en compte la disponibilité effective de ces ressources, nous appliquons une heuristique, et obtenons un délai de 106 jours ouvrables, ce délai est considéré comme "satisfaisant" par les responsables de la chaîne.

Aussi, il est impératif de veiller au bon déroulement des "tâches critiques", sachant que tout retard dans l'exécution de ces dernières, se répercute aussitôt sur le délai global. Ainsi, de manière à pallier à cette éventualité, il serait souhaitable de songer à programmer des heures supplémentaires afin de minimiser ces retards.

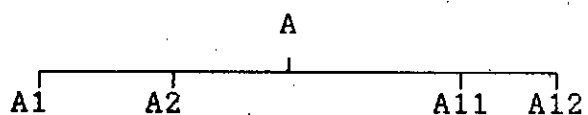
**I-Introduction :**

La "gestion indépendante des stocks" a été pendant longtemps, la seule méthode applicable pour déterminer les approvisionnements. Or, en gestion des stocks, la principale difficulté résulte de la part d'incertitude qui affecte : le délai d'approvisionnement et la prévision des consommations.

Un responsable des "stocks" ne maîtrisant pas parfaitement ces deux paramètres doit constituer des stocks de sécurité.

Cette façon de faire, souffre d'un handicap très particulier dans le cas où de nombreuses pièces sont destinées à être montées ensembles.

En effet, si une pièce donnée A, est composée de douze (12) éléments numérotés de 1 à 12 (Fig.1), et, si en outre, les composants sont gérés "indépendamment" par la méthode du point de commande, et qu'un stock de sécurité soit mis en place, procurant un niveau de sécurité de 95 % pour chaque composant, alors, le niveau de sécurité du composé (en utilisant le théorème des probabilités indépendantes) serait de 0.54, c'est à dire approximativement une chance sur deux, pour que le composé A soit fabriqué.



A est dit de niveau 0

A<sub>i</sub> sont dits de niveau 1  
(i=1, ..., 12)

-Fig.1-

Pour gérer dans de bonnes conditions des stocks qui dépendent les uns des autres, il faut tenir compte de cette dépendance. On parle, non plus de gestion de stocks, mais plutôt de "gestion intégrée de flux": C'est la planification des besoins en composants (P.B.C.), ou M.R.P. (Materiel Requirement Planning).

## II-L'inadéquation des politiques "Classiques" : [ 21 ]

Les politiques classiques de gestion de stocks :

- i - postulent que les différentes références peuvent être gérées indépendamment, parceque les demandes sont indépendantes;
- ii- supposent que la demande - qu'elle soit de nature discrète ou continue - est régulière.

Ces deux hypothèses montrent que les méthodes classiques de gestion des stocks ne sont pas appropriées pour traiter de façon satisfaisante le cas de stocks de fabrication ( matières premières, composants, ... ).

Une nouvelle approche est apparue dans les années 60, pour essayer de pallier à ces insuffisances. Il s'agit de la M.R.P.

Néanmoins, celle-ci est passée par différentes étapes :

- La première, connue sous le nom de MRP I, cherche à établir une programmation de la production et des approvisionnements, grâce aux nomenclatures arborescentes de fabrication et ceci, sans tenir compte des "charges" induites.
- La seconde démarche, dénommée MRP II (ou Manufacturing Resource Planning), ne s'applique pas seulement à la production, mais de plus, vise à contrôler toutes les ressources de l'Entreprise mobilisées directement ou indirectement par la production (hommes, machines, trésorerie, sous-traitance, ... ).

## III-Notions de base : [ 10 ]

III.1 / Le Plan directeur de production (Master production schedule):

Il prend en charge le plan des besoins commerciaux. Ce dernier est traduit en termes de quantités de produits parfaitement définis à fabriquer à des dates déterminées (date d'exigibilité). Son horizon est au moins égal à un cycle complet d'obtention de produits. Sa caractéristique essentielle est sa faisabilité.

### III.2 / Planification à capacité infinie :

Opération qui consiste à jalonnner les opérations d'une gamme de fabrication et à charger les postes de travail correspondants, et ceci d'une manière simultanée ; le chargement s'effectue sans tenir compte de la capacité réelle de chaque poste.

### III.3 / Planification à capacité finie :

Opération similaire à la précédente, sauf que le chargement s'effectue en tenant compte de la capacité réelle de chaque poste.

### III.4 / La base de données techniques :

C'est l'ensemble des données réparties essentiellement entre cinq fichiers interconnectés. Elle permet de répondre aux questions suivantes :

- De quoi se compose tel ensemble ?
- Dans quels ensembles est utilisé tel article ?
- Quels sont les articles qui passent par tel poste de charge ?
- De quels outillages a-t-on besoin pour tel article ?

Ces fichiers sont:

1 - Le fichier Articles : Il regroupe les données relatives à la désignation des articles et de leurs caractéristiques.

2i - Le fichier Nomenclature : Il s'agit en réalité de "liens Nomenclatures", c'est-à-dire des liaisons existantes entre un composé et chacun de ses composants.

3i - Le fichier Gammes de fabrication : Ce fichier réunit la gamme des opérations permettant d'obtenir le composé à partir de ses composants de premier niveau.

4i - Le fichier Postes de charge : En gestion de production, un poste de charge constitue un moyen de production. Ce dernier peut être une machine, un groupe de machines, une équipe ou une sous-traitance extérieure.

-5i - Le fichier Outillages : Ce fichier n'existe que dans les

fabrications qui nécessitent des outillages spécifiques, en général ces derniers se trouvent en nombre limité dans l'Entreprise.

Remarque :

Les cinq fichiers doivent être maintenus à jour.

**IV- Conditions préalables à la mise en application de la M.R.P.:**

-Beaucoup de tentatives d'implantation de la M.R.P. se sont soldées par un échec, faute de n'avoir pas porté une attention suffisante aux conditions préalables suivantes :

- i - existence d'un plan directeur de production (ou P.D.P.);
- 2i - existence d'une base de données techniques.

**V- Les mécanismes fondamentaux de la M.R.P. : [ 10 ]**

Nous ne décrirons que la M.R.P. I. ou, M.R.P. simple<sup>1</sup>.

Le principe du calcul est élémentaire, ce qui n'empêche pas une mise en oeuvre complexe.

Pour mieux expliciter sa logique, utilisons un exemple, décrivant les différentes étapes.

*a - Détermination des besoins bruts du composant :*

Partant d'un échéancier de produits finis (tiré du P.D.P.), et de la nomenclature prédéfinie pour chaque article, on détermine l'échéancier des besoins bruts : c'est la phase éclatement ( Cf. Tableau 5.1 ).

---

<sup>1</sup> N. B. : Le problème de calcul des charges et leur régulation est traité par le P. E. R. T.



TABLEAU 5.1

Périodes	16	17	18	19	20	21	22
P.D.P	30	0	25	40	0	20	15
Besoins bruts	30	0	25	40	0	20	15

Source: [ 10 ]

b - Détermination des besoins nets :

Les besoins bruts du Tableau 5.1 ne correspondent pas à ce qu'il est "nécessaire de lancer" en production. Il faut aussi tenir compte à la fois :

- du stock initial et,
- des réceptions (ou entrées en stocks) attendues.

Si on désigne par :

$PS_t$  : Position de stock à la fin de la période t

$SD_t$  : Le stock physiquement disponible à la fin de la période t

$Q_t$  : Réception prévue en début de période t

$BB_t$  : Les besoins bruts de la période t

$BN_t$  : Les besoins nets de la période t

La position du stock s'exprime par :

$$\begin{cases} PS_t = PS_{t-1} + Q_t - BB_t & \text{pour } t > 1 \\ PS_1 = SD_c + Q_1 - BB_1 & \text{pour } t = 0 \end{cases}$$

et les besoins nets:

$$\begin{cases} BN_t = \text{Max} \left\{ 0, BB_t - \text{Max} ( 0, PS_{t-1} ) - Q_t \right\} & \text{pour } t > 1 \\ BN_1 = \text{Max} \left\{ 0, (-PS_1) \right\} & \text{pour } t = 1 \end{cases}$$

d'où le tableau suivant:

TABLEAU 5.2

Périodes	15	16	17	18	19	20	21	22
$BB_t$	-	30	0	25	40	0	20	15
$Q_t$	-	20	0	30	0	0	0	0
$PS_t$	10	0	0	5	-35	-35	-55	-70
$BN_t$	0	0	0	0	30	0	20	15

Source: [ 10 ]

c - Détermination des lots ou lotissement:

La détermination de la quantité à livrer (ou à approvisionner) pour satisfaire les besoins d'une ou de plusieurs périodes, devrait reposer sur un compromis entre coûts de lancement et coûts d'entretien<sup>2</sup>.

Les techniques les plus utilisées sont :

- 1- la technique du lot pour lot;
- 2i- la technique de la quantité économique ou Economic Order Quantity (E.O.Q.);
- 3i- méthode de Wagner-Whitin;
- 4i- l'heuristique de Silver et Meal;
- 5i- la méthode du "Part-Period Balancing".

Toutes ces techniques sont détaillées dans le chapitre suivant.

d - Décalage de l'ordre de lancement :

- Une fois déterminées les quantités à approvisionner et leur date de besoin ou d'exigibilité, il faut tenir compte des délais d'obtention séparant la décision de lancement (de la fabrication ou de l'approvisionnement), de la livraison. C'est la phase décalage.

Soit par exemple :

- un délai d'obtention égal à deux périodes ,
- aucune contrainte sur les lots à approvisionner et,
- adoptant la technique de lotissement "lot pour lot", nous obtenons le tableau suivant (Tab.5.3).

<sup>2</sup> Cf. Annexe N°2.

TABLEAU 5.3

Périodes	15	16	17	18	19	20	21	22
$BB_t$	-	30	0	25	40	0	20	15
$Q_t$	-	20	0	30	0	0	0	0
$PS_t$	10	0	0	-5	-35	-35	-55	70
$BN_t$	0	0	0	0	30	0	20	15
Fin d'ordre	0	0	0	0	30	0	20	15
Début d'ordre	0	0	30	0	20	15	0	0

Source: [ 10 ]

## VI- Les techniques de lotissement:

### VI.1 / Introduction :

Depuis quelques décennies, , lorsque la demande est discrète, l'intérêt porté à la gestion classique des stocks se déplace vers les techniques de dimensionnement des lots "lancés" ( fabriqués ou approvisionnés ) ou, lotissement.

Ce développement est encouragé par l'émergence du système de gestion de production M.R.P. dans un grand nombre d'industries ( industrie mécanique surtout ).

Avant de décrire ces techniques de lotissement, nous énonçons leurs hypothèses communes.

### VI.2 / Hypothèses générales des techniques de lotissement :[ 18 ]

1 - Le taux de demande (interne ou externe) est régulier au cours de chaque période. Ce taux est noté  $D(j)$ ,  $j = 1, \dots, N$  (Cf.Fig.5.1);

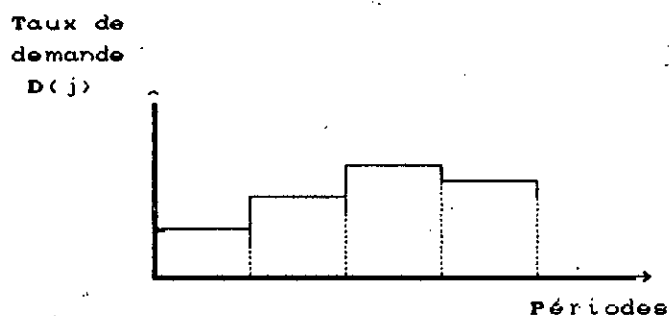
2i- le besoin pour chaque période doit être disponible au début de chaque période;

3i- les composantes du coût total<sup>3</sup> ne doivent pas varier en fonction du temps (inflation à un niveau bas);

4i- il n'y a pas d'escompte sur la quantité;

5i- les délais d'approvisionnement sont connus avec certitude;

6i- aucune pénurie n'est autorisée.



-FIG.5.1-

### VI.3 / Description des techniques de lotissement :

#### 3.1 / La technique du lot pour lot :

Il s'agit de la technique la plus simple de lotissement. Elle permet la minimisation du coût d'entretien du stock.

Cette technique consiste à programmer, pour chaque période, une quantité couvrant exactement les besoins nets.

Hypothèses de cette technique :

En plus des hypothèses communes aux techniques de lotissement, citées plus haut, se rajoutent les suivantes :

- des délais de livraison courts et connus avec exactitude,
- un coût de commande relativement faible par rapport au coût d'entretien.

<sup>3</sup> Cf. Annexe N°2.

Pour la suite on note par : [ 9 ]

$C_L$  : coût de lancement de commande,

$C_e$  : coût d'entretien du stock.

$C_a$  : coût d'acquisition du stock.

$r$  : taux d'intérêt,

$D(j)$ : demande à la période  $j$ .

( Pour les définitions de ces paramètres Cf. Annexe N°2 )

### 3.2 / Technique de la quantité économique (Modèle de

Wilson) : [ 9 ]

La méthode de Wilson est utilisée lorsque la demande est régulière mais, peut être étendue au cas où la variabilité de cette demande n'est pas très importante (Cf. Fig. 5.2).

La quantité économique est donnée par :

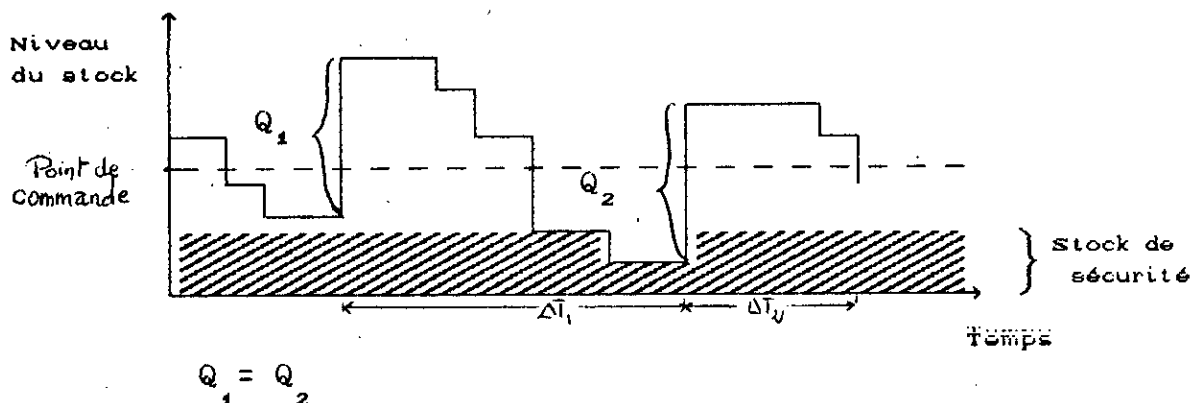
$$E.O.Q. = \sqrt{2 \cdot \bar{D} \cdot \frac{C_L}{C_e}}$$

avec :

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N D(j)$$

On peut exprimer E.O.Q. en périodes d'approvisionnement :

$$T_{E.O.Q.} = \frac{E.O.Q.}{\bar{D}} = \sqrt{\frac{2}{\bar{D}} \cdot \frac{C_L}{C_e}}$$



-Fig. 5.2-

Remarque : E.O.Q. doit répondre aux "besoins" d'un nombre entier de périodes. Une manière assez simple pour répondre à ce critère, est de calculer le "besoin cumulatif" jusqu'à trouver la plus proche valeur (par excès) de E.O.Q.

### 3.3. / La Méthode Wagner-Whitin : [ 15 ]

Il s'agit d'une méthode optimale, basée sur la programmation dynamique, sous les "hypothèses générales des techniques de lotissement"<sup>4</sup> auxquelles s'ajoute l'hypothèse suivante :

- La demande est nulle à la fin de l'horizon planifié.

\* Variables et paramètres utilisés :

- Les étapes : Les périodes  $t = 1, \dots, N$  ( avec  $N$  l'horizon de planification ).

- Les états :

- Variable d'état :

$R_t$  = stock physique au début de la période  $t$ .

- Variable de décision :

$q_t$  = approvisionnement de la période  $t$ .

$$\begin{cases} R_t = R_{t-1} + q_t - d_{t-1} & t = 1, \dots, N \\ R_{N+1} = 0 \end{cases} \quad \text{(le stock résiduel à la fin de l'horizon économique est nul)}$$

\* Formulation : ( cas où il n'y a pas contrainte de stockage )  
Soit  $C_t( q_t, R_t )$  le coût total de stockage. La fonction récursive à minimiser s'écrit :

$$f_t(R_t) = \min_{q_t} \left\{ C_t(q_t, R_t) + f_{t+1}(R_{t+1}) \right\} \quad t = 1, \dots, N$$

<sup>4</sup> Cf. supra, p

Remarque :

L'effort de calcul paraît exagéré. Néanmoins, on peut donner une borne supérieure au groupage des besoins. Cette borne peut être exprimée par :

$$\sum_{j=1}^p (j-1)D(j) C_o > C_L$$

avec  $p$  : le nombre de périodes à recouvrir.

### 3.4 / Heuristique de Silver-Meal : [ 18 ]

Il s'agit, en fait, d'une variante de l'E.O.Q. Cette heuristique est beaucoup plus performante lorsque la variabilité de la demande est importante.

Elle consiste à choisir la quantité qui correspond au rapport minimum suivant :

$$\text{TRCUT}(j) = \frac{C_L + C_o(j)}{j} \quad (j : \text{numéro de la période})$$

Ici  $C_o(j)$  désigne le coût d'entretien cumulé jusqu'à la période  $j$ .

Si  $C_o$ , pour une période  $l$ , se réduit à :  $D(l) \cdot C_o \cdot r$ , alors :

$$\text{TRCUT}(j) = \frac{C_L + \sum_{l=1}^j (l-1) \cdot D(l) \cdot C_o \cdot r}{j}$$

Ainsi,  $\text{TRCUT}(j)$  correspond au coût total par unité de temps lorsqu'on groupe les besoins de  $j$  périodes.

### 3.4.1 - Algorithme :

Début

$j := 1$ ;  $TRCUT(j) := (C_L + C_e(j)) / j$ ;

Tant que  $TRCUT(j+1) < TRCUT(j)$  faire

Début

Evaluer  $TRCUT(j)$

$j := j+1$

Fin

Fin tant que

$j^* := j$ ;  $TRCUT^* := TRCUT(j^*)$ ;

Fin

N.B.: La quantité à approvisionner est :

$$Q^* = \sum_{j=1}^{j^*} D(j)$$

avec  $j^*$  le nombre de périodes que l'approvisionnement doit couvrir.

### 3.4.2 / Critique :

La solution à laquelle aboutit l'heuristique peut être un optimum local loin de l'optimum global.

### 3.4.3 / Justification : [ 18 ]

<< Les simulations réalisées sur de nombreux exemples, ont montré que l'utilisation de l'heuristique de Silver-Meal à la place de la méthode de Wagner-Whitin, n'entraînait pas plus de 1 % de coût de pénalité tout en étant beaucoup plus simple dans son application >>.

### 3.4.4 / Mais concrètement, quand est-il plus judicieux d'utiliser cette heuristique ? :

Dès que la variabilité de la demande est jugée importante, affirment Silver & Peteron<sup>5</sup>, il est préférable d'utiliser l'heuristique de Silver-Meal à la place de la méthode E.O.Q.

Dès lors une question se pose : A partir de quel seuil pourra-t-on dire que la variabilité est importante ?

<sup>5</sup>Cf. [ 18 ].



La réponse est, si nous notons :

- cette variabilité : VC,
- la variance de la demande par période : VAR(D),
- la moyenne de la demande : E(D) et, le taux de demande (interne ou externe) D(j), avec j la période (j=1,...,N), nous aurons, avec :

$$E(D) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N D(j)$$

$$VAR(D) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [D(j)]^2 - [E(D)]^2$$

et avec :

$$VC = \frac{VAR(D)}{[E(D)]^2}$$

$$VC = \frac{N \sum_{j=1}^N [D(j)]^2}{\left[ \sum_{j=1}^N D(j) \right]^2} - 1$$

Ainsi,

Si  $VC < 0.2$  Alors utiliser E.O.Q. avec  $\bar{D}$  la demande moyenne;

Si  $VC \geq 0.2$  Alors utiliser l'heuristique de Silver-Meal.

### 3.5 / La méthode "Part-Périod Balancing" : [ 15 ]

Cette technique est basée sur le critère mathématique suivant :

« Le minimum du coût total ( $C_L + C_e$ ) est atteint quand :  $C_L = C_e$  ».

A partir de là, on choisit le nombre de périodes à recouvrir de façon à avoir l'égalité entre ces coûts .

## ALGORITHME

Début

$j := 1; Q := 0;$

Tant que  $C_e(j) < C_L$  faire

$Q := Q + D(j);$

$j := j + 1$

Evaluer  $C_e(j)$

Fin tant que

$j^* := j - 1; Q^* := Q;$

Fin .

Remarque : Le rôle du stock de sécurité n'a pas perdu de son intérêt dans le système M.R.P. En effet, les délais d'approvisionnement ne sont pas toujours maîtrisables et c'est là que réside toute l'importance de ces stocks de sécurité [ 5 ].

## SECTION 2 : Adaptation de la méthode M.R.P.

### I - Introduction :

Dans notre cas, les objectifs de l'application de la M.R.P., sont de coordonner l'utilisation des moyens, humains et techniques, pour réduire à la fois les excès de stock et les ruptures de stock, pour arriver ainsi à respecter les délais de réalisation du produit, en l'occurrence, dans notre cas, un "avion rénové". D'où la nécessité de trouver la démarche idéale pour réaliser:

- i - un stock minimum ( le cas idéal correspondant au stock zéro ),
- 2i - pas de rupture de stocks (qui pourrait alors allonger les délais).

*Dans le cas d'industries mécaniques, une telle démarche existe, c'est la M.R.P. ou, Planification des Besoins en Composants.*

La M.R.P. est applicable quand la demande des articles dépend ou dérive de celle d'autres articles ( articles à demande dépendante<sup>6</sup> ). Pour cela il nous a été nécessaire de déterminer la composante du stock qui peut être de cette nature.

### II - Analyse de la nature du stock :

L'E.R.M.A. relève un stock composé d'environ 35 000 articles<sup>7</sup>.

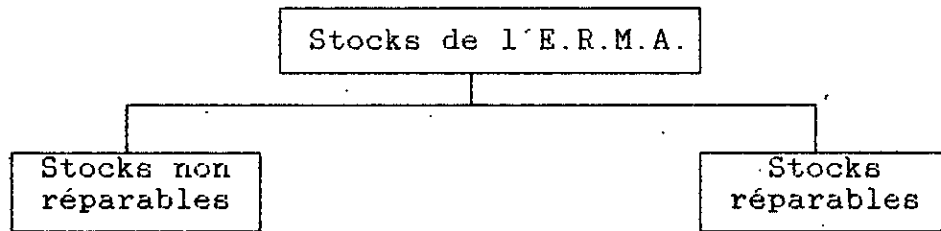
En se rapprochant des magasins d'approvisionnement pour l'analyse de ce stock, et grâce au concours des collègues dont les travaux portent sur le sujet<sup>8</sup>, il se dégage la classification suivante ( Cf.Fig.1 )

---

<sup>6</sup> Cf. Annexe N°2.

<sup>7</sup> Estimation du responsable des approvisionnements.

<sup>8</sup> Mémoire de fin d'études, BOUKABOUS A., SEBTI A. : 24 1.



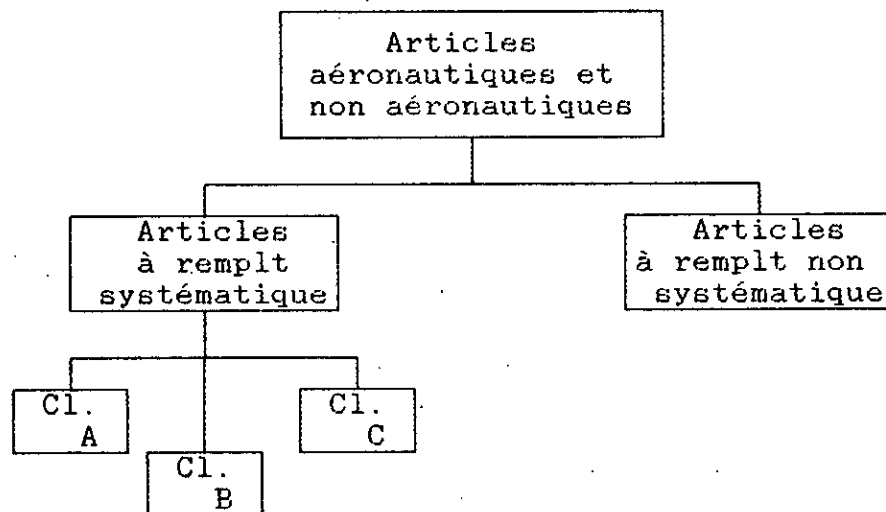
- Fig.1 -

Ainsi, la nature du stock peut se subdiviser en deux familles:

- famille des articles réparables,
- famille des articles non réparables, composée d'articles aéronautiques et non aéronautiques. Nous nous intéressons à cette seconde famille.

Lors du processus de rénovation d'un avion, au sein du "Hall de Montage" (H.M.), certains articles sont remplacés systématiquement. Nous pouvons dès lors, subdiviser cette famille en deux composantes ( cf fig2 ) :

- la première correspondant aux articles que l'on remplace d'une manière systématique sur l'avion,
- la seconde regroupant le reste du stock et qui comprend les articles que l'on ne remplace que s'il y a défaillance ou péremption.



-fig.2-

Notation:

Remplt : Remplacement.  
Cl. : Classe.

### III- CHOIX DE LA TECHNIQUE DE LOTISSEMENT :

L'application de la M.R.P. s'adresse à la première composante bien qu'elle peut être étendue à la seconde.

Cette première composante révèle un stock d'environ neuf à dix mille articles. L'hétérogénéité relevée au sein de cette composante nous amène à utiliser la classification ABC [ 9 ] afin d'associer à chacune la technique de lotissement la plus appropriée.

Cette classification nous révèle :

- la *classe A* : elle est constituée d'articles coûteux. Mais nous remarquons qu'au sein de cette même classe , apparaît un autre type d'hétérogénéité qu'il faut alors relever. En effet, la non diversité des fournisseurs de l'E.R.M.A.<sup>9</sup> ( surtout en articles aéronautiques ), et leur éloignement géographique induisent des coûts de lancement très importants, ce qui pousse les responsables de l'approvisionnement à préférer la méthode des commandes groupées.

Ainsi, pour relever cette hétérogénéité, nous avons subdivisé cette même classe en deux sous-classes:

*Sous-classe A1* : constituée d'articles coûteux, avec coût de lancement faible ( proximité du fournisseur, qu'il soit national ou international ).

Nous suggérons pour cette sous-classe d'articles , la technique du lot pour lot, cette dernière tenant compte de la cherté des articles et de leurs faibles coûts de lancement.

*Sous-classe A2* : constituée d'articles coûteux avec un coût de lancement important.

Nous suggérons alors la technique du Part-Period Balancing.

la *classe B* : constituée d'articles caractérisés par leur coût d'acquisition moyen et leur consommation moyenne.

Pour cette classe, nous optons pour la méthode E.O.Q ou l'heuristique de SILVER-MEAL, suivant la variabilité de leur consommation ( VC ).

<sup>9</sup> Ex-U. R. S. S et Bulgarie.

la classe C : constituée d'articles peu couteux. Toutefois, toute rupture de stock en articles de cette classe peut, dans le cas de l'E.R.M.A., entraîner une immobilisation des chaînes de montage et des ateliers de réparation. Pour cela nous proposons la méthode E.O.Q.

En résumé, nous adoptons les formulations suivantes:

Pour la classe A.1	:	Lot pour lot
Pour la classe A.2	:	Part period balancing
Pour la classe B	:	E.O.Q. ou l'heuristique de Silver-Meal ( suivant la valeur de VC )
Pour la classe C	:	E.O.Q.

#### Conclusion :

Pour valider cette classification, il aurait fallu approfondir cette analyse des stocks. Mais cette dernière est apparue difficilement réalisable. Ainsi, procéder à un échantillonnage d'articles à partir duquel nous serions passés à sa généralisation semblait judicieux, mais les données relatives :

- aux délais d'approvisionnement des fournisseurs ( internationaux et nationaux) n'étant pas relevées pour ces articles et,
- les coûts, de lancement de commandes et d'entretien étant difficilement estimables (absence d'une comptabilité analytique),

nous avons été contraints de nous contenter de l'expérience des magasiniers.

Jusqu'ici, nous avons développé une démarche, permettant l'adaptation de la méthode M.R.P. à l'entreprise.

Bien que cette démarche reste cohérente sur le plan théorique, nous regrettons de ne pouvoir la valider, les "exigences préalables" de cette méthode ne se trouvant pas encore toutes remplies. Ainsi, pour aboutir à cette validation, il nous est apparu nécessaire de proposer, dans la section suivante, une procédure pour la mise en œuvre de cette méthode.

SECTION 3 : MISE EN OEUVRE DE LA METHODE M. R. P.

Avant d'aller plus loin, il nous paraît intéressant de souligner que, pour réussir la mise en œuvre de la M.R.P. au sein de l'Entreprise, il faut, tout d'abord, prendre en considération les conditions de son application.

Les charges induites par l'exécution des tâches -et donc par les gammes des articles- ont déjà fait l'objet de calcul ( calcul des besoins en capacités ), et aussi de régulation, par rapport aux capacités disponibles, et ceci, à travers l'application de la méthode P.E.R.T. ( Pert-temps et Pert-charge ).

Ainsi, pour la mise en œuvre de la M.R.P. il serait nécessaire de recueillir les informations suivantes :

i - *Le programme directeur de production* dont la durée du cycle est déjà donnée par le délai obtenu à l'aide des résultats du P.E.R.T.

Il n'y aura pas un problème d'estimation de la demande en produits ( ici, les avions à rénover ), la demande étant nettement supérieure à la capacité existante. En effet, le flux d'avions devant subir les opérations de maintenance est continu.

2i - *La base de données techniques* qui comprend :

\* Fichier Articles. On doit regrouper ici les informations suivantes :

- Code de l'article
- Désignation de l'article
- Unité d'achat
- Unité d'emploi
- Type d'article
- Stock de sécurité

- Délai d'obtention
- Règles de lotissement
- Quantité Multiple
- Quantité minimum et/ou maximum

- Fichier Nomenclature : Il regroupe les informations relatives au :

- Code article du composé
- Code article du composant
- Niveau des articles (composés-composants)
- Coefficient de lien
- Taux de rebut au montage

- Fichier Outillage :

Comme les outils nécessaires au démontage et au montage se trouvent en nombre limité dans l'Entreprise, il est donc nécessaire de :

- s'assurer qu'ils sont disponibles au moment de la planification
- les maintenir en état ou les remplacer en temps voulu.

On trouve dans ce fichier les rubriques suivantes :

- Code outillage
- Désignation
- Nombre d'exemplaires disponibles
- Durée de vie
- Durée d'utilisation cumulée en unités de temps (jours, semaines, mois, année)
- Procédure de contrôle
- Procédure de maintenance

- Fichier Poste de charge et Fichier Gamme :

Il n'est pas nécessaire, dans notre cas, d'avoir ces deux fichiers, car :

- la gamme de chaque article est déjà décrite dans l'application du P.E.R.T., par les tâches de montage et de réparation, qui lui correspondent,
- la charge induite par cette gamme est déjà calculée avec l'application du P.E.R.T., et sa régulation avec les capacités disponibles, est déjà obtenue à l'aide du P.E.R.T. charge.



3i - Les données de flux qui se traduisent par :

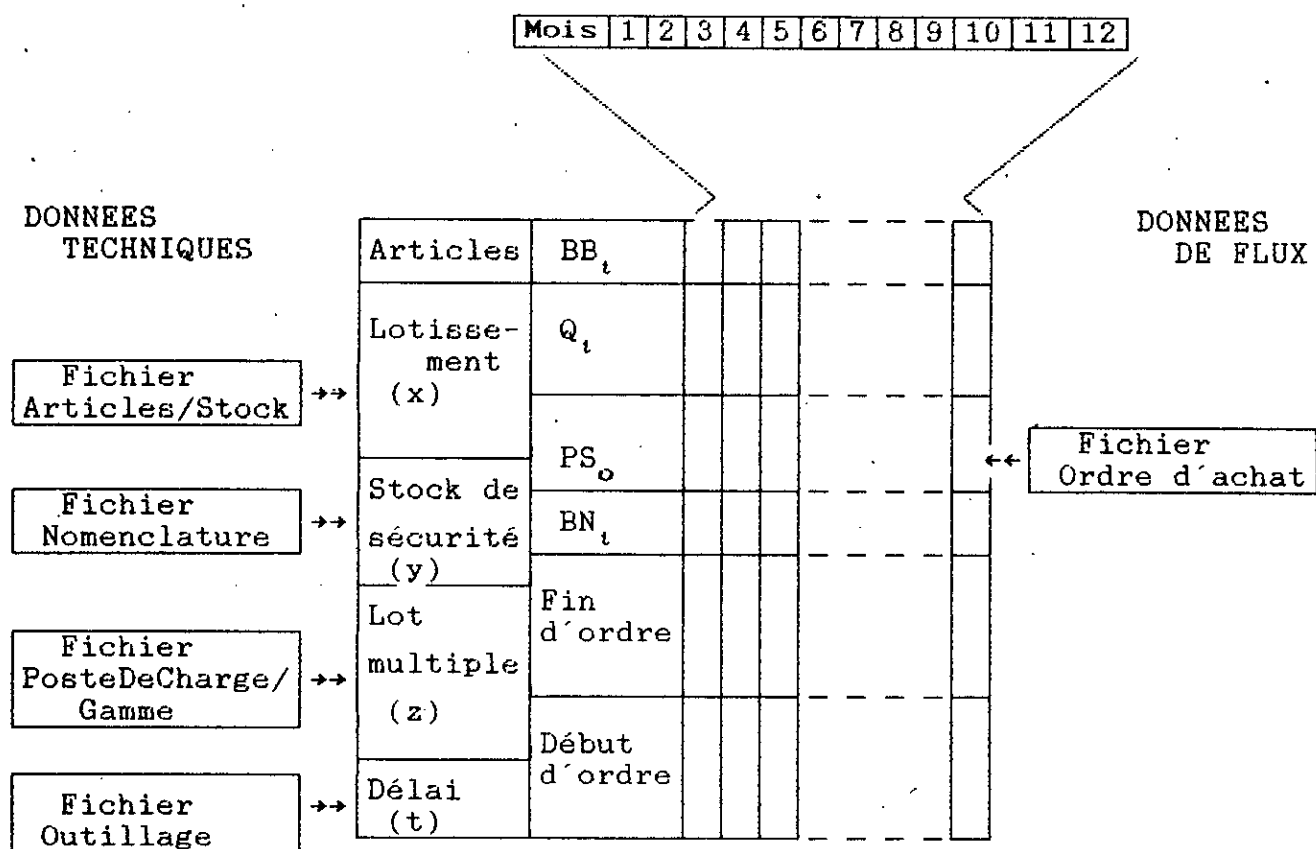
-Fichier Ordre d'Achat qui contient les informations suivantes :

- Numéro de l'Ordre d'Achat (O.A.)
- Code de l'article à acheter
- Quantité
- Début de l'O.A.
- Fin de l'O.A.

4i - Interconnexion de ces fichiers :

Ces fichiers sont solidaires les uns des autres, c'est à dire que l'on ne se contente pas de les juxtaposer, mais que l'on établit des liaisons entre eux qui rendent possibles le passage de l'un à l'autre ( Cf. Tableau 1 )

TABLEAU 1.



**Notations:**

$BB_t$ : Besoins bruts de la période t

$BN_t$ : Besoins nets de la période t

$PS_o$ : Stock disponible

$Q_t$ : Réception prévue en début de période t

Source : Conférence M. BARTH, MRP II 10

<sup>10</sup>Cf. [ 22 ].

**Conclusion :**

La mise en œuvre de la M.R.P. passe par la procédure décrite dans cette section.

Il est évident que, *la base de données techniques et les données de flux*, nécessitent une mise à jour continue ( pour assurer leur fiabilité ).

En effet, l'Entreprise, puisque évoluant en permanence (évolution des produits, des techniques,...), ne doit pas se limiter à la définition de fichiers puis à la collecte des données s'y rapportant. Elle doit veiller à leur réactualisation en permanence. Seule l'informatisation de ces bases de données pourra aider cette réactualisation.

## INTERFACE

La M.R.P. en elle même, possède tous les éléments de la planification et de l'ordonnancement. Elle gère à la fois les délais et les besoins ( P.D.P., calcul des besoins ).

*Alors pourquoi lui associer la méthode P.E.R.T. ?*

De même, la méthode P.E.R.T. permet à la fois, la planification des tâches et celle des besoins (C.P.M.).

*Alors pourquoi lui associer la méthode M.R.P. ?*

L'analyse des points forts et des points faibles de chacune de ces méthodes, apporte à notre avis, des éléments de réponse aux interrogations précédentes.

En effet, la méthode M.R.P. se caractérise surtout par la maîtrise de la planification des besoins, mais elle reste mal adaptée au suivi à court terme ( gestion d'atelier ), ce qui se traduit par un manque de maîtrise de la " planification des dates d'exigibilité " de ces composants.

Par contre la méthode P.E.R.T. possède cette maîtrise des délais, mais n'a pas la possibilité de gérer les besoins d'une façon aussi satisfaisante que la M.R.P.

De là apparaît l'intérêt d'associer ces deux méthodes pour une meilleure maîtrise de la planification, à la fois, des délais et des besoins.

*Comment dès lors se manifeste concrètement l'interface résultant de cette association ?*

Le P.E.R.T. fournit les dates de début d'exécution des tâches. Ces dernières correspondent aux dates d'exigibilité des composants nécessaires à l'exécution de ces tâches. C'est d'ailleurs en fonction de ces dates que se déclenche toute la " mécanique M.R.P. " .

La M.R.P. assure la disponibilité des composants à leur date d'exigibilité, évitant ainsi tout retard dû à une rupture de stock.

La mise en commun de chacune de ces caractéristiques a pour effet le renforcement de la planification.

Mais à chaque fois que l'on essaye d'associer plusieurs méthodes de gestion de production, il est intéressant de se pencher sur l'impact des fluctuations - résultant de l'instabilité de l'environnement - de chacune des méthodes sur le reste du système.

En effet, tout retard par rapport au planning P.E.R.T., de l'exécution d'une tâche nécessite la réactualisation de sa date d'exigibilité, et donc, implique la mise à jour ( à travers le P.D.P. ) de la M.R.P.

D'autre part, tout retard par rapport au P.D.P., de disponibilité d'un composant se traduit par un retard équivalent dans l'exécution des tâches nécessitant ce composant. Ce qui implique une mise à jour du planning P.E.R.T.

Malgré l'existence d'une "souplesse" offerte, pour le planning P.E.R.T. par les marges, et pour la M.R.P. par les délais-fournisseurs, les mises à jours respectives du P.E.R.T. et de la M.R.P. sont parfois inévitables.

*Serait-il possible de stabiliser le système P.E.R.T./M.R.P. afin d'éviter ces fréquentes mises à jours ?*

En effet , la M.R.P., qui est une méthode de planification de moyen terme, doit posséder, à notre avis, un minimum de stabilité.

Pour cela , la méthode " s'alimente " des dates au plus tôt fournies par le P.E.R.T. pour établir son P.D.P., mais alors il faudrait accepter le coût de stockage additionnel engendré par la disponibilité anticipée de composants. Cette "disponibilité anticipée" de composants est la conséquence d'un retard dans le début d'exécution de tâches.

le P.E.R.T., étant une méthode de planification à court terme, ne peut éviter ces fréquentes mises à jours, que celles-ci soient dues aux éventuels retards dans l'approvisionnement ou aux différents aléas inhérents à ce court terme.

Mais, la démarche adoptée pour la prise en compte de cette interface ne doit pas s'arrêter pas aux questions posées plus haut.

En effet, la "mise en œuvre" de ce système P.E.R.T./M.R.P. relèvera d'autres problèmes et d'autres interrogations de considération purement pratique qu'il faudra alors prendre en charge.

CONCLUSION

## CONCLUSION

Dans ce mémoire a été développée une démarche visant à, dans un premier temps, planifier les travaux d'entretien d'un avion de type MiG-21.

Pour cela, nous avons appliqué la méthode P.E.R.T. à la "Chaîne 21". Cette application ne s'est pas faite sans avoir, au préalable, collecté les données relatives aux paramètres requis par cette méthode par le biais de l'interview. Puis, en utilisant le progiciel "PROJECT", nous avons obtenu le planning des tâches relatives à ces travaux. Mais ce résultat étant incomplet, car ne prenant pas en considération les capacités effectives en ressources, c'est pourquoi nous avons utilisé, pour complément l'heuristique de LISTE.

Ainsi, à ce niveau, l'efficacité de ce travail se trouve conditionnée par :

- une mise à jour continuelle du P.E.R.T. et de l'heuristique;
- le respect des dates de début et de fin des tâches critiques;

Dans un second temps, nous nous sommes intéressés à une partie du stock dont la rupture est l'une des principales causes des retards constatés dans l'achèvement du projet-21.

Pour cela, nous avons opté pour la méthode M.R.P. qui a déjà donné ses preuves dans beaucoup d'Entreprises.

Dans ce mémoire nous avons limité l'application de cette méthode au stock de type non réparable, alors que son extension aux stocks

réparables est possible, mais il faudrait, tout d'abord, instaurer les conditions de sa mise en application.

La gestion de cette partie des approvisionnements et l'ordonnancement de la Chaîne-21, bien qu'étant préalables l'une à l'autre, ne peuvent qu'être efficaces menées de front; leur mise à niveau en dehors de son intérêt méthodologique, provoque une dynamique de changement qui est bénéfique pour l'intégration de ces méthodes. Dès lors, dans l'optique de la réussite de leur mise en œuvre, nous avons abouti à une interface P.E.R.T./M.R.P.

Cette interface a mis en avant les "ponts" existants entre ces deux méthodes, la réussite de ce système P.E.R.T./M.R.P. Toutefois il est à signaler que cette interface n'étant pas exhaustive, il faudra prendre en charge les questions surgissant lors de sa mise en œuvre.



## BIBLIOGRAPHIE

- [ 1 ] AZOULAY P., DASSONVILLE P., Recherche Opérationnelle de Gestion, Ed. Eyrolles, 1976.
- [ 2 ] BEAUD M., L'Art de la Thèse, Ed. La Découverte, 1991.
- [ 3 ] BERNARD J., PAKER M., Les plannings, Ed. Dunod, 1985.
- [ 4 ] CARLIER J., CHRETIENNE P., Problèmes d'ordonnement : modélisation, complexité, algorithmes, Ed. Masson, Paris, 1988.
- [ 5 ] CHAABANE M., In Survey in of Savety Stocks in M.R.P. Systems.
- [ 6 ] FAURE R., ALJ A., Guide de la Recherche Opérationnelle, 1990.
- [ 7 ] FAURE R., ROUCAIROL C., TOLLA P., Chemins, flots et ordonnancements, Ed. Gauthier-Villars, 1976.
- [ 8 ] HAURY C., Le Correcteur Syntaxique, Ed. U.U.C., Paris, 1951.
- [ 9 ] GAITHER N., L'entreprise et la gestion des opérations, Paris, 1983.
- [ 10 ] GIARD V., Gestion de la Production, 1988.
- [ 11 ] LAMBERT P., La fonction Ordonnement, 1982.
- [ 12 ] LEVY D., G.P.A.O. : Choix d'un système et mise en œuvre, Ed. EYROLLES, Paris, 1985, 167p;
- [ 13 ] LYNWOOD A.J., DOUGLAS M.C., Operations Research in Production Planning Scheduling and Inventory Control, 1976.
- [ 14 ] MESTOUDJIAN J., De CRESCENZO J., La gestion de production assistée par ordinateur, Tomes 1 & 2, Ed. de l'Usine Nouvelle, Paris 1987.
- [ 15 ] ORLICKY J., Material Requirements Planning, 1975.
- [ 16 ] ROSEAUX, Exercices de Recherche Opérationnelle, Ed. MASSON, 1986
- [ 17 ] SAKAROVITCH,
- [ 18 ] SILVER E.A., PETERSON R., Decision Systems for Inventory Management and Production Planning, 1985.
- [ 19 ] SYSLO, Discrete Optimization Algorithms, 1984.
- [ 20 ] VOLLMANN T.E., BERRY W.L., WHYBARK D.C., Manufacturing Planning and Control Systems, Dow Jones-Irwin ed., Illinois 1988.

### Cours et mémoires :

- [ 21 ] Cours de M. BELAID, Gestion de production, E.N.P. Département Génie Industriel, 1993.
- [ 22 ] Conférence de M. BARTH portant sur la MRP II, ENP, Mai 1993.
- [ 23 ] Mémoire de fin d'étude, A. YAHI, H. BITAM, Automatisation de l'affectation des ressources..., E.N.P. 1992.
- [ 24 ] Mémoire de fin d'étude, BOUKABOUS A., SEETI A., Gestion des stocks, E.N.P. 1993.

ANNEXE N°0 : Les tâches et leur durées

N°	Noms des tâches	$t_o / t_m / t_p$ (h)	$T_m$ (h)	$\sigma$
* 1	Début > Arrivée AVION	0	0	0.000
* 2	Réception Piste	4/4/8	4,4	0.667
* 3	EntréeHM+Nivel AVION	8/8/10	8,2	0.333
* 4	Réception H.M.AVION	16/32/40	30,4	4.000
5	D indic Angl d'attaque	1/1/2	1,1	0.167
* 6	D ResExt+MécPyrotech	4/4/8	4,4	0.667
7	D Verrière	$\frac{1}{4} / 1/4$	1,2	0.625
8	D ARM Pyl Ventr f1	2/2/4	2,2	0.333
9	D ARM canonBitube	2/2/4	2,2	0.333
10	D SdeAném compNz	3/3/4	3,1	0.167
11	D ARM Lgt jbeAv.	4	4,0	0.000
* 12	D ARM AIL Acc+pyl	3/4/6	4,1	0.500
13	D ParachFrein+Acc	3/6/12	6,3	1.500
14	D manche à balai	1/1/2	1,1	0.167
15	D ARM CAB	4	4,0	0.000
16	D EE complB	4/4/8	4,4	0.667
17	D Acc JbeAv	16/24/32	24,0	2.667
* 18	D PorteVisit+VteDos	10/20/40	21,4	5.000
19	D EE/RADIO CAB	40/40/80	46,9	6.667
20	D Acc complB	4/4/8	4,4	0.667
21	D RADAR+CôneAcc	8/8/16	9,2	1.333
22	RefEtiqVent RADAR	4/4/8	4,4	0.667
23	Atelier RADAR	160/160/320	186,4	6.667
* 24	D EE/RADIO VoûteArr	8/8/16	9,2	1.333
25	D EE/RADIO ENRGsup	8/12/16	12,0	1.333
26	D EE/RADIO ENRGinf	12/12/16	12,4	0.667
27	D AccuHYD f1	16	16,0	0.000
28	D EE/RADIO ENRGmoy	16/16/24	17,2	1.333
* 29	Séparation f1/f2	5/5/10	5,5	0.833
30	D ARM ENRGsup	4	4,0	0.000
31	D Res7+tuy+philtres	8/8/12	8,4	0.667
32	D Trap+Verrin f1	4	4,0	0.000
33	D Tôle-pFeu f2	3/6/9	6,0	1.000
34	D Stab+PoutrFixation	6/6/12	7,0	1.000
35	D Acc f2	6/6/18	8,0	2.000
36	D RADIO f2	10/13/15	12,5	0.833

N°	Nom des tâches	$t_o/t_m/t_p$ (h)	$T_m$ (h)	$\sigma$
37	D AccLgt TrainPpl	16/16/20	16,4	0.667
* 38	D MTR	10/20/31	20,5	3.500
39	D compBATT	16/24/32	24,0	2.667
40	RefEtiqVentil ARM	8	8,0	0.000
41	D Res Souple+Acc	16/16/24	17,2	1.333
42	D Gouv+BielletCdes	3/6/12	6,3	1.500
43	Lav+Déc Rés Ext+Pyl	4	4,0	0.000
44	Atelier ARMEMENTS	88	88,0	0.000
45	Obtur tuy+vent f2	16	16,0	0.000
46	D m/c CAB	12/12/16	12,4	0.667
47	RefEtiqVent Cde+Carén + Portes>Visites	8/8/12	8,4	0.667
48	Rép Res Ext	80/80/90	81,4	1.667
49	D sysCARB LgtTrainPpl	2/2/4	2,2	0.333
50	Trav sur MTR&Tuyère	4/5/10	5,4	1.200
* 51	Sépar AILD/f1	5/8/20	9,3	2.500
* 52	Sépar AILG/f1	5/8/20	9,3	2.500
53	D Acc compMTR	16/16/24	17,2	1.333
54	Lav+Déc Cde+Carén	24	24,0	0.000
55	Dépose Res Soupl+Acc	8	8,0	0.000
56	D Acc s/s f1	8/8/12	8,4	0.667
57	Lav+Déc f2	8/8/12	24,4	0.667
* 58	D AILD EE/RADIO	8/8/12	17,2	1.333
* 59	D AILG EE/RADIO	16/16/24	17,2	1.333
60	D EE s/s f1	4/4/8	4,4	0.667
61	Obtur tuy+vent f1	4/8/12	8,4	2.000
62	Lav+Déc f1	20/24/32	24,4	2.000
63	Vent VERRIERE	1	1,0	0.000
* 64	D AILD jbe+volet+Acc	7/10/20	11,1	2.167
* 65	D AILG jbe+volet+Acc	7/10/20	11,1	2.167
66	RefEtiqVent RADIO	8/16/24	16,0	2.000
67	RefEtiqVent EE/I	24	24,0	0.000
68	Rép élmts strat	8/8/75	19,1	11.167
69	Rép Verriere	80/150/320	166,4	40.000
70	Rép Struct f2	48/80/120	81,2	12.000
71	Obtur+ventil AILG	8	8,0	0.000
72	Obtur tuy+vent AILD	8	8,0	0.000
73	RefEtiqVentil Acc	240/240/400	266,4	26.667
74	Atelier RADIO	160	160,0	0.000

N°	Nom des tâches	$t_o/t_m/t_p$ (h)	$T_m$ (h)	$\sigma$
75	Lav+Déc AIL	16	16,0	0.000
76	Rép structure f1	120/120/160	126,4	6.667
77	Atelier Equip E/Instr	240/240/400	266,4	26.667
78	Vent QUINCAILLERIE	12	12,0	0.000
79	LABO-Radiologie	35/40/47	40,3	2.000
80	Atelier ACCESSOIRES	35/40/47	266,4	26.667
81	Lav+Déc QUINCAIL	16	16,0	0.000
82	Peint Res Ext	10	10,0	0.000
83	Atelier Trait Sce	3/3/8	3,5	0.833
84	Rcompl+Inspect Quincail	2	2,0	0.000
85	Rcompl+Inspect ARM	2	2,0	0.000
86	Rcompl+Insp elmStrat	2	2,0	0.000
87	Rép Cdes démontables	20/36/60	37,2	6.667
88	Rép Struct AIL	48/80/120	81,2	12
89	Rép Carén, StabGouv, VOLET	120/120/160	126,4	6.667
90	Peint f2 :	69/75/100	78,1	5.167
91	Rcompl+Inspect Cdes	1	1,0	0.000
92	Rcompl+Inspect RADAR	2	2,0	0.000
93	Peinture f1	50/50/75	54,1	4.167
94	Peint AIL	64	64,0	0.000
95	Rcomp+Inspect f2	4	4,0	0.000
96	Rcomp+Insp Verriere	2	2,0	0.000
97	LABO-Mastic	3	3,0	0.000
98	M dériv/f2 AntPCO	4/8/32	11,2	4.667
99	Rcompl+Inspect RADIO	2	2,0	0.000
100	M s/s f2 Ant	6/8/24	10,2	3.000
101	Peint Carén, Gouv, Stab	75/75/100	72,1	4.167
102	Rcomp+Inspect f1	4	4,0	0.000
103	M ARM jbeAv	1	1,0	0.000
104	NetCtr+M Ecône	4/5/12	6,0	1.333
105	NetCtrlGraiss CdeCAB	12/12/16	12,4	0.667
106	M Cde démtabl CAB	8/10/16	10,4	0.333
107	Ctr MécNlin; Chg Cach	16/16/32	18,4	2.667
108	Rcompl+Inspect AIL	4	4,0	0.000

N°	Nom des tâches	$t_o/t_m/t_p$	$T_m$	$\sigma$
109	Nett+Graiss AILG	8	8,0	0.000
110	Nett+Graiss AILD	8	8,0	0.000
111	Déf prélim AIL ARM	10/10/22	12,0	2.000
112	M AILG Cde booster	8	8,0	0.000
113	M AILD booster	8	8,0	0.000
114	Vérif étanch CAB	5	5,0	0.000
115	Mise/ordre cablg CAB	2/2/4	2,2	0.333
116	Rcompl+Inspect CAREN	2	2,0	0.000
117	M AILG Volet	4/4/8	7,2	0.667
118	M AILD volet	4/4/8	7,2	0.667
119	Net+M poutreStab	12/12/24	14,0	2.000
120	M AILG aileron	8/16/40	18,4	5.333
121	M AILD aileron	8/16/40	18,4	5.333
122	Ctr poutreStab+MStab	24/24/40	26,4	2.667
123	Rcomp+Inspect E/Instr	2	2,0	0.000
124	M distrib Equé f1	1/1/2	1,1	0.167
125	M EE bord G	5/5/8	5,3	0.500
126	M EE Niche Batt	6/7/9	7,1	0.500
127	M Pc/f2 E(0)	11/11/27	13,4	2.667
128	M ENRGsupf1	24/24/40	26,4	2.667
129	M EE CAB	24/24/40	26,4	2.667
130	M Lgtint/f2 RADIO	16/40/160	56,0	24.000
131	M AILG renvois	4/4/8	7,2	0.667
132	M AILD renvois	4/4/8	7,2	0.667
133	M EE bord D	5/5/8	5,3	0.500
*134	Rcompl+Inspect ACC	2	2,0	0.000
135	M renvois CdeGouvf2	2/2/8	3,0	1.000
136	M radiateur-f1Ventr	2/3/7	3,5	0.000
137	M Acc LgtJbeAvD	4/5/8	5,2	0.667
138	M tuy conditionnement	6/6/8	6,2	0.333
139	CompMTR:M sps+joints	3/8/16	8,3	2.167
140	M+Régl AILD jbe	4/12/16	11,2	2.000
141	M+Régl AILG jbe	4/12/16	11,2	2.000
142	M m/c comp1B	7/12/18	12,1	1.833
143	M Acc Cde CABINE	16/16/24	17,2	1.333
144	Verif+Rép AILG Carb	16/16/24	17,2	1.333

N°	Nom des tâches	$t_o/t_m/t_p$	$T_m$	$\sigma$
145	Vérif+Rép AILD Carb	16/16/24	17,2	1.333
146	M Acc LgtJbeAvG	16/24/32	24,0	2.667
147	M ParachtQueue+Régl	24/24/32	25,2	1.333
*148	M+Racc tuy;pose 2->6	40/40/80	46,4	6.667
149	M Pc/f2 booster	4/8/40	12,4	6.000
150	M Gouverne drction	8/8/24	10,4	2.667
151	Lav+M Hyd 7-16	34/34/40	35,0	1.000
152	Lav+M Hyd 16-20	40/48/80	52,0	6.667
153	Lav+M Hyd 22-28	72/80/90	80,2	3.000
154	Lav+M Hyd 20-22	18/22/24	21,4	1.000
155	M AILG EE(0)	4/5/8	5,2	0.667
156	M AILD EE(0)	4/5/8	5,2	0.667
157	M AILG RADIO	6/11/21	11,5	2.500
158	M AILD RADIO	6/11/21	11,5	2.500
159	M RADIO+EE comp1B	73/108/142	107,5	11.500
160	M Pc/f2 EqtRADIO	4/8/16	8,4	2.000
161	M EE ENRGsup	4/8/12	8,0	1.333
162	M manettes CAB	8/8/24	10,4	2.667
163	M+Etch AILD Pneum	24	24,0	0.000
164	M+Etch AILG Pneum	24	24,0	0.000
165	M Pc/f2E(2)+TrglBooster	5/5/12	6,1	1.167
166	M Acc LgtJbAvMil	6/6/8	12,4	0.333
167	M+Essai/Ctr Stab	8/8/40	13,3	5.333
168	M Hyd+Pneum CAB	20/35/50	35,0	5.000
169	M+Lav Pcinf/f2 Hyd	10/10/25	12,3	2.2
170	M Acc+EE compMTR	8	8,0	0.000
171	M EE jbeAv	4	4,0	0.000
172	M+Régl jbe Av	32/37/44	37,2	2.000
173	M AILG Acc	16	16,0	0.000
174	M AILD Acc	16	16,0	0.000
175	M f2 Pneum+Carb	8/10/35	13,5	4.500
176	M:Tet4->6+Jaug5	8	8,0	0.000
*177	M:4pomp+3clapet,pomp	24	24,0	0.000
178	M AIL Acc Carb	1	1,0	0.000
179	M AILG EE(3)	2/2/3	2,6	0.167
180	M AILD EE(3)	2/2/3	2,6	0.167

N°	Nom des tâches	$t_o/t_m/t_p$	$T_m$	$\sigma$
181	M AILD EE(2)	10/10/20	19,2	2.667
182	M AILG EE(2)	10/10/20	19,2	2.667
183	Banc d'Essai AILD	4/4/8	4,4	0.667
184	EtchMisAUptF2Hyd+Pnm	16/16/24	17,3	1.333
185	M Acc(1)Verriere	8/8/16	9,2	1.333
*186	M 3tuy sup/inf+Jaug	4/4/8	4,4	0.667
187	M Acc(2)Verriere	12/12/16	12,4	0.667
188	M sysAntIncend LTPpl	3/3/4	3,2	0.167
*189	Fix Tet+M 2tuy	40/40/60	43,2	3.333
190	M AILG EE(1)	5/5/8	5,3	0.500
191	M AILD EE(1)	5/5/8	5,3	0.500
192	M Roue+E jbeAv	10/16/20	15,4	1.667
193	Essai étanch Verriere	8/8/80	20,0	12.000
194	Lav+Essai Hyd f1	4/4/8	7,2	0.667
195	M+Régl verrin jbeAv	4/5/7	5,1	0.500
196	M EE partie ventrale	11/11/17	12,0	1.000
197	M+Régl trap jbeAv	16/16/32	18,4	2.667
198	M RADIO niche Av	80/80/100	83,2	3.333
199	M ARM ventr f1	3	3,0	0.000
200	M PAY-107 Ventr f1	3/3/4	3,1	0.167
201	Ctr brchts+Géné	1/1/2	1,1	0.167
202	Ctr f1 convertisseurs	1/2/4	2,1	0.500
203	Ctr systE CAB	5/10/25	11,4	0.167
*204	M Acc voute	1/1/2	1,1	0.167
*205	M porte visites Carb	16/16/30	18,2	2.333
206	M ARM niche Av	2	2,0	0.000
207	M 7clapet,souppap	2/2/8	3,0	1.000
*208	Banc d'Essai AILG	4/4/8	4,4	0.667
209	M 3,4 & 7 EE Res	3	3,0	0.000
*210	Assemblage AIL/f1	6/6/8	6,2	0.333
211	Liaison f1/AIL Carb	1/1/2	1,1	0.167
*212	Ctr f1 étanchPneum	2/2/4	2,2	0.333
*213	MisAUpt+M MTR	2/2/4	2,2	0.333
*214	Ajust+Connex Lnsf1MTR	6/12/20	12,2	2.333
*215	Régl Cde MTR	8/8/16	9,2	1.333
*216	Assemblage f1/f2	4/8/32	11,2	4.667

N°	Nom des tâches	$t_o/t_m/t_p$ (h)	$T_m$ (h)	$\sigma$
217	M trappes+A/Freins	2/2/4	2,2	0.333
*218	Assemb LnsE+Cde flf2	4	4,0	0.000
219	M RADAR	4/4/8	4,3	1.000
220	Remplcmt ph+Lav Hyd	8/8/12	8,4	0.667
221	M ARM AIL	16	16,0	0.000
222	M ARM CAB	3/4/6	4,5	0.500
223	M Voûte E/RADIO	5/5/8	5,3	0.500
*224	M RADIO Voûte	14/14/27	16,1	2.167
225	Ctr sortie Train	2/2/3	2,1	0.167
226	Essai+Ctr étanch Hyd	4	4,0	0.000
227	LABO-Analyse Hyd	8	8,0	0.000
228	M Efin+MisAUptRADIO	16/16/32	18,4	2.667
229	MisAUpt StabGouvCde	6/9/18	10,0	2.000
230	MisAUpt fin ARM	16/16/24	17,2	1.333
*231	M Res7 + 7tuy	8/8/16	9,2	1.333
232	M Verriere	$\frac{4}{2}$ /1/2	1,0	0.250
233	Fix+Régl cône(ybd20)	4/5/18	3,4	2.333
234	Ctr sps+Ksi2+APY	8/8/16	12,1	1.333
*235	Lav+Essai Avion Carb	4/4/8	4,4	0.667
*236	Essai+Ctr étanch AVION	6/10/20	11,0	2.333
*237	MisAUpt de l'A/P	8/12/27	13,5	3.167
*238	Réglage de tir	8	8,0	0.000
*239	MisAUptFin ftrapNiv	10/14/16	13,4	1.000
*240	Etalonnage sysCarb	8/24/30	22,2	3.667
*241	Essai MTR	4/4/8	4,4	0.667
*242	Exam+Ctr final	4/4/5	4,1	0.167
*243	Peint fin.AVION	64/64/120	73,2	9.333
*244	Remise AVION CtrTech	8	8,0	0.000
*245	Essais Piste	8	8,0	0.000
*246	H.M. après Réception	8/8/32	12,0	4.000
*247	Livraison finale	8/8/16	9,2	1.333



NOTION DE COMPLEXITE

1 - La taille d'un problème : On appelle taille d'un problème, le nombre de bits qui doivent être utilisés dans un codage binaire des données de ce problème<sup>1</sup>.

2 - Complexité d'un algorithme : On dit qu'un algorithme de résolution A est de complexité d'ordre  $f(n)$  (on note  $O(f(n))$ ) si la croissance asymptotique du temps de calcul  $T_A(n)$ , en fonction de n, taille du problème, est d'ordre  $f(n)$  ou plus.

3 - Mesure de la complexité : On note deux méthodes :

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

Cette méthode souffre de deux défauts majeurs :

- on ne peut jamais être sûr d'avoir atteint des tailles de problèmes suffisamment grandes pour se retrouver dans une zone où le comportement de la fonction  $T_n$  est suffisamment proche de son comportement asymptotique.

- la complexité est une notion relative au pire des cas, et la mise en oeuvre de ce pire des cas pour l'évaluation expérimentale de sa complexité, est beaucoup plus difficile que sa détermination directe.

b - Détermination par décompte du nombre d'opérations élémentaires.

C'est une méthode plus efficace, mais pour certains Algorithmes, il est difficile de procéder au décompte du nombre d'opérations existantes.

<sup>1</sup> cf. MINOUX M., Graphes - Algorithmes et logiciels - MINOUX M. 1986.

4 - Les classes de problèmes :

a - Les problèmes polynomiaux ou classe P.

Les problèmes polynomiaux sont solubles en temps polynomial par une MT (Machine de Turing) déterministe.

b - La classe NP .

Un problème appartient à la classe NP s'il peut être résolu en temps polynomial par un algorithme non déterministe.

Cette classe contient des problèmes (par exemple, le problème "Pert-Charge") pour lesquels on ne connaît pas encore d'algorithme polynomial.

c - La classe NP-complet.

Les problèmes NP-complets sont tous équivalents polynomialement entre eux et sont tels, qu'aucun problème NP ne soit plus difficile.

ANNEXE N° 2

QUELQUES DEFINITIONS :

1 - Le délai d'approvisionnement :

C'est l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'émission de la demande de réapprovisionnement et la réception effective des produits.

2 - Le coût de lancement : C'est un coût fixe relatif aux opérations

- Montage - Démontage - Mise en place - Réglage des installations

- Appel d'offres (dans les frais administratifs liés à l'appel d'offre, ...).

3 - Le coût d'entretien : C'est un coût variable proportionnel à la quantité maintenue en stock et à la durée de stockage. Il inclut les loyers, les charges, les assurances,....

4 - Articles à demande indépendante : Ce sont les articles dont la demande n'est pas liée à celle des autres articles du stock; il s'agit des produits commercialisables vendus directement et des pièces de rechange vendues en après-vente.

5 - Articles à demande dépendante : Ce sont les articles dont la demande dépend ou dérive de celle d'autres articles: il s'agit de la majorité des articles de production ( matières premières, sous-ensembles,....).

ANNEXE N° 3

Problèmes Test pour valider l'algorithme de LISTE

Problème 1 : [ 19 ]

N°Tâche	Durées	Antécédents	D.pTard	RES1	RES2	RES3
1	0	-	0	0	0	0
2	3	1	7	0	0	1
3	4	2	6	0	1	0
4	11	3	10	1	0	0
5	6	1	4	1	0	0
6	4	5	10	0	0	1
7	7	6, 9	14	1	0	0
8	9	1	1	0	1	0
9	3	2, 8	10	1	0	0
10	8	9	13	0	0	1
11	0	4, 7, 10	21	0	0	0

Les dates au plus tard sont les résultats du P.E.R.T.

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

Le calendrier d'exécution des tâches après application de la méthode des listes est :

N° tâche	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Date de début	0	0	9	19	0	6	12	0	9	12	30

Ce calendrier est identique à celui obtenu dans [ 19 ].

Problème 2 : [ 12 ]

N°Tâche	Durées	Antécédents	Dates au plus Tard	Ressources
1	6	-	0	3
2	3	-	1	2
3	6	-	3	1
4	2	2	4	1
5	4	2	5	3
6	3	1, 4	6	3
7	1	6, 5, 3	9	2

Les dates au plus tard sont les résultats de l'application du P.E.R.T.

Le nombre de ressources disponibles est : cinq (05)

Le calendrier d'exécution des tâches après l'application de la méthode des listes est :

N° tâche	1	2	3	4	5	6	7
Date de début	0	0	3	3	6	10	13

Ce calendrier est identique à celui obtenu dans [ 16 ].

ANNEXE N° 4

Loi BETA

- Hypothèses de la loi :

Les hypothèses que doit satisfaire la distribution  $f(t)$  choisie sont :

- à une valeur  $t$  correspond une valeur et une seule de  $f(t)$  ;
- la probabilité pour que l'activité demande un temps inférieur à un temps dit "optimiste"  $a$  est nulle ;
- la probabilité pour que l'activité demande un temps supérieur à un temps dit "pessimiste"  $b$  est nulle ;
- il existe un temps dit "le plus probable"  $m$ , qui correspond au mode, supposé unique, de la distribution ;
- l'étendue entre le minimum  $a$  et le maximum  $b$  est censée représenter six écarts-types, c'est-à-dire  $\sigma = \frac{b-a}{6}$ .

Il existe une distribution classique qui répond à ces conditions. C'est la distribution Bêta à 4 paramètres  $a, b, p, q$  dont la densité de probabilité est donnée par

$$f(t) = \frac{(t-a)^p (b-t)^q}{(b-a)^{p+q+1} \cdot \beta(p+1; q+1)}$$

avec :

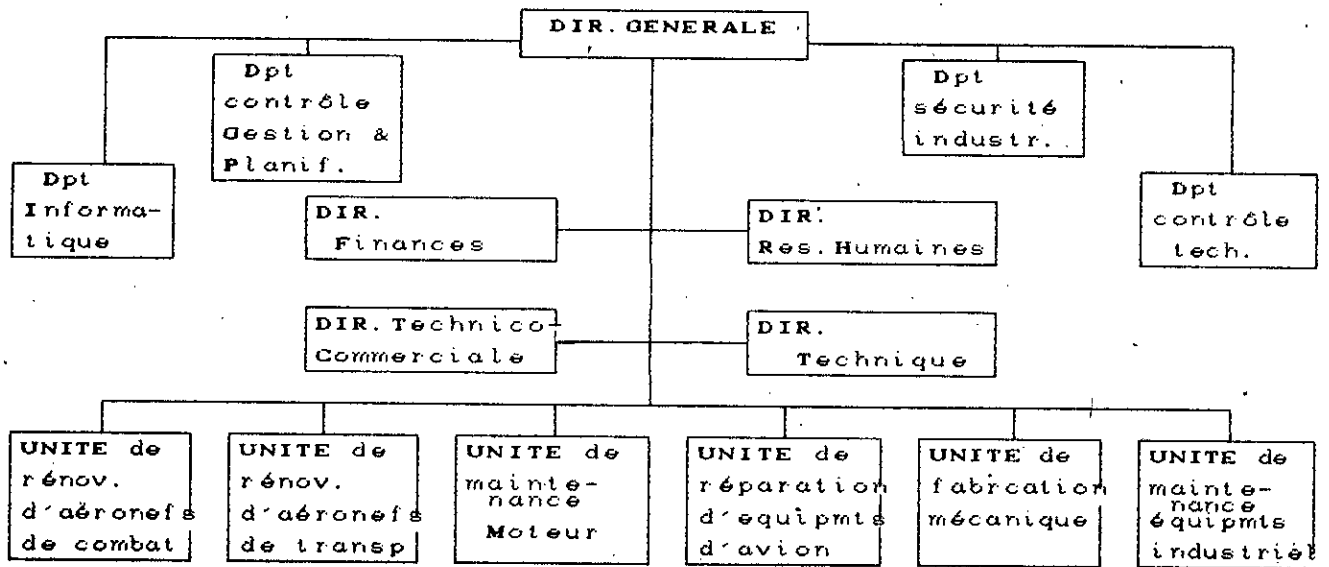
$$\beta(p, q) = \frac{\Gamma(p) \cdot \Gamma(q)}{\Gamma(p+q)}$$

Si on approxime  $\mu$  et  $\sigma$  par :

$$\mu = \frac{a + 4m + b}{6} \quad \text{et} \quad \sigma = \frac{b - a}{6}$$

alors,  $p, q$  prendront des valeurs particulières ( $2 \pm \sqrt{2}$ ), et dans ce cas, la valeur de  $m$  ne peut être indépendante de  $a$  et  $b$ .

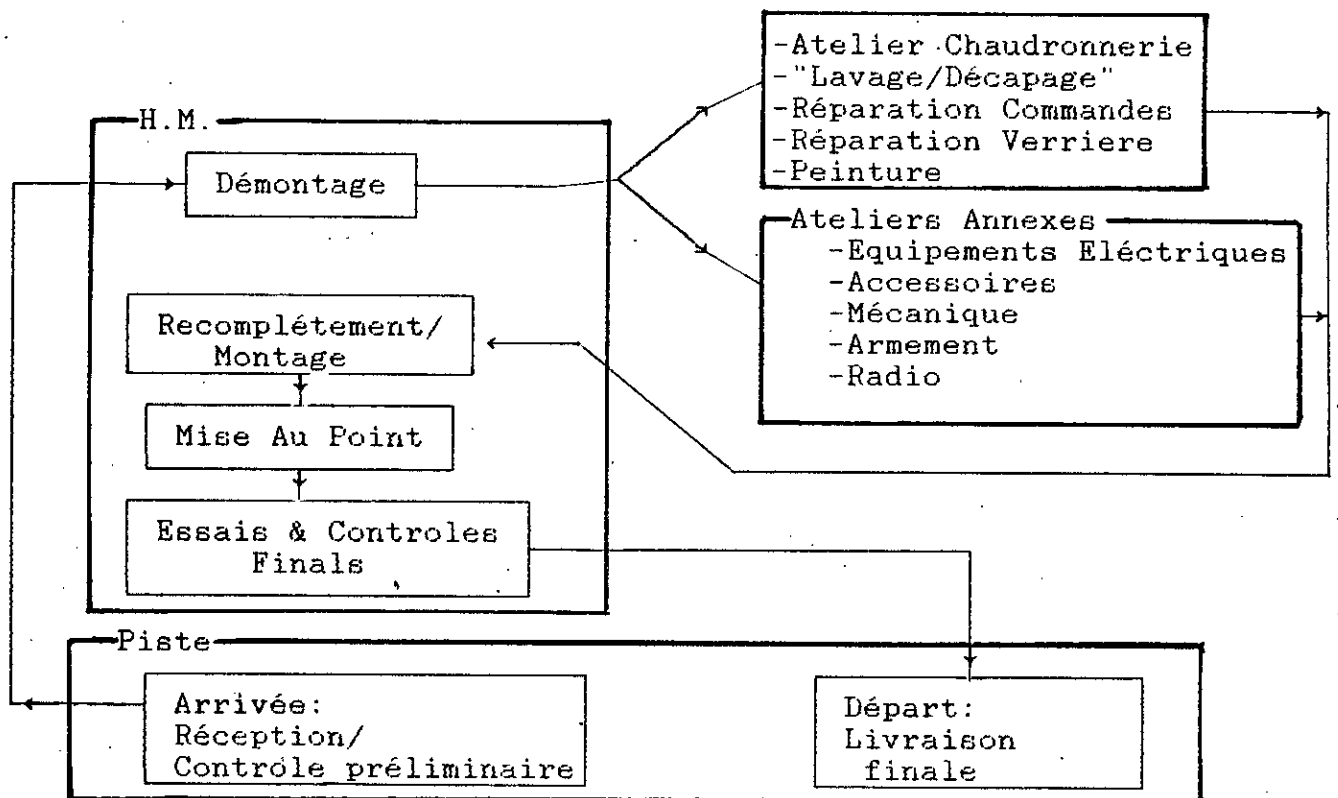
ANNEXE N°5 : Organigramme de l'E.R.M.A.



Abréviations utilisées :

DIR. : Direction. rénov. : Rénovation. Res. : Ressources.  
 Dpt : Département. transp. : Transport. equipmts : Equipements.

ANNEXE N°5bis Organigramme de la Chaîne-21.



ANNEXE N° 6 : Dates d'exécution des tâches

N°des tâches	D. TOT	D. TARD	D. PREVUES
* 1	1/01/	1/01/	01/01
* 2	1/01/	1/01/	01/01
* 3	1/01/	1/01/	02/01
* 4	2/01/	2/01/	02/01
5	6/01/	28/02/	09/01
* 6	6/01/	6/01/	09/01
7	6/01/	12/01/	09/01
8	6/01/	23/01/	09/01
9	6/01/	23/01/	09/01
10	6/01/	20/01/	09/01
11	6/01/	18/01/	09/01
* 12	6/01/	6/01/	09/01
13	6/01/	23/01/	09/01
14	6/01/	12/01/	09/01
15	6/01/	12/01/	10/01
16	9/01/	23/01/	10/01
17	9/01/	19/01/	10/01
* 18	9/01/	9/01/ 0	10/01
19	9/01/	13/01/	10/01
20	9/01/	23/01/	10/01
21	9/01/	21/02/	10/01
22	10/01/	17/03/	11/01
23	11/01/	17/03/	12/01
* 24	11/01/	11/01/	13/01
25	11/01/	16/01/	13/01
26	11/01/	2/02/	13/01
27	11/01/	18/01/	13/01
28	11/01/	2/02/	13/01
* 29	12/01/	12/01/	16/01
30	13/01/	28/02/	16/01
31	13/01/	18/01/	16/01
32	13/01/	23/01/	16/01
33	13/01/	31/01/	17/01
34	13/01/	31/01/	17/01
35	13/01/	23/01/	17/01
36	13/01/	20/02/	17/01
37	13/01/	20/01/	17/01



N° des Tâches	D. TOT	D. TARD	D. PREVUES
* 38	13/01/	13/01/	17/01
39	13/01/	18/01/	17/01
40	13/01/	1/03/	18/01
41	16/01/	19/01/	18/01
42	16/01/	31/01/	18/01
43	16/01/	31/03/	19/01
44	16/01/	01/03/	19/01
45	16/01/	21/02/	19/01
46	16/01/	20/01/	19/01
47	17/01/	1/02/	19/01
48	17/01/	31/03/	19/01
49	17/01/	24/01/	20/01
50	17/01/	5/04/	20/01
* 51	17/01/	17/01/	20/01
* 52	17/01/	17/01/	20/01
53	17/01/	20/01/	20/01
54	18/01/	2/02/	20/01
55	18/01/	23/01/	20/01
56	18/01/	23/01/	23/01
57	18/01/	23/02/	24/01
* 58	18/01/	18/01/	24/01
* 59	18/01/	18/01/	24/01
60	19/01/	26/01/	25/01
61	19/01/	6/02/	26/01
62	20/01/	7/02/	27/01
63	20/01/	22/02/	27/01
* 64	20/01/	20/01/	27/01
* 65	20/01/	20/01/	27/01
66	20/01/	28/02/	27/01
67	20/01/	26/01/	27/01
68	23/01/	30/03/	30/01
69	23/01/	22/02/	30/01
70	23/01/	28/02/	31/01
71	24/01/	2/02/	01/02
72	24/01/	2/02/	01/02
* 73	24/01/	24/01/	01/02

N° des Tâches	D. TOT	D. TARD	D. PREVUES
74	24/01/	2/03/	01/02
75	25/01/	3/02/	02/02
76	25/01/	9/02/	02/02
77	25/01/	1/01/	02/02
78	27/01/	7/03/	06/02
79	27/01/	7/02/	06/02
* 80	27/01/	27/01/	06/02
81	30/01/	8/03/	07/02
82	30/01/	14/04/	07/02
83	1/02/	10/03/	09/02
84	1/02/	10/03/	10/02
85	2/02/	16/03/	10/02
86	2/02/	4/04/	10/02
87	2/02/	9/03/	13/02
88	2/02/	21/02/	13/02
89	2/02/	14/02/	13/02
90	6/02/	17/03/	14/02
91	9/02/	15/03/	17/02
92	10/02/	18/04/	20/02
93	15/02/	2/03/	24/02
94	16/02/	6/03/	27/02
95	17/02/	27/03/	28/02
96	17/02/	27/03/	28/02
97	17/02/	22/03/	28/02
98	17/02/	7/04/	28/02
99	20/02/	29/03/	01/03
100	20/02/	4/04/	02/03
101	23/02/	7/03/	06/03
102	23/02/	13/03/	06/03
103	24/02/	16/03/	06/03
104	24/02/	18/04/	06/03
105	24/02/	14/03/	06/03
106	27/02/	16/03/	08/03
107	27/02/	28/03/	08/03
108	27/02/	16/03/	08/03
109	28/02/	16/03/	08/03

N° des Tâches	D. TOT	D. TARD	D. PREVUES
110	28/02/	16/03/	08/03
111	28/02/	7/04/	08/03
112	1/03/	21/03/	09/03
113	1/03/	21/03/	09/03
114	2/03/	31/03/	10/03
115	2/03/	31/03/	13/03
116	8/03/	17/03	17/03
117	8/03/	21/03	17/03
118	8/03/	21/03/	17/03
119	8/03/	31/03/	17/03
120	8/03/	17/03/	17/03
121	8/03/	17/03/	17/03
122	10/03/	4/04/	21/03
123	10/03/	15/03/	21/03
124	10/03/	20/03/	21/03
125	10/03/	04/04/	21/03
126	10/03/	03/04/	21/03
127	10/03/	29/03/	21/03
128	10/03/	31/03/	21/03
129	10/03/	31/03	21/03
130	10/03/	27/03/	21/03
131	10/03/	21/03/	22/03
132	10/03/	21/03/	22/03
133	13/03/	4/04/	22/03
*134	13/03/	13/03/	23/03
135	13/03/	7/04/	23/03
136	13/03/	24/03/	23/03
137	13/03/	20/03/	23/03
138	13/03/	20/03/	23/03
139	13/03/	29/03/	23/03
140	13/03/	23/03/	23/03
141	13/03/	23/03/	23/03
142	13/03/	28/03/	23/03
143	13/03/	16/03/	23/03
144	13/03/	22/03/	23/03
145	13/03/	22/03/	23/03

N° des Tâches	D. TOT	D. TARD	D. PREVUES
146	13/03/	16/03/	23/03
147	13/03/	4/04/	23/03
*148	13/03/	13/03/	23/03
149	13/03/	31/03/	24/03
150	14/03/	7/04/	24/03
151	14/03/	28/03/	24/03
152	14/03/	24/03/	24/03
153	14/03/	21/03/	24/03
154	14/03/	30/03/	24/03
155	15/03/	4/04/	27/03
156	15/03/	4/04/	27/03
157	15/03/	4/04/	27/03
158	15/03/	4/04/	27/03
159	15/03/	29/03/	27/03
160	15/03/	3/04/	27/03
161	15/03/	5/04/	27/03
162	15/03/	20/03/	27/03
163	15/03/	24/03/	27/03
164	15/03/	24/03/	27/03
165	16/03/	4/04/	27/03
166	16/03/	21/03/	27/03
167	16/03/	7/04/	27/03
168	16/03/	21/03/	28/03
169	17/03/	5/04/	28/03
170	17/03/	5/04/	28/03
171	17/03/	22/03/	29/03
172	20/03/	23/03/	29/03
173	20/03/	29/03/	29/03
174	20/03/	29/03/	29/03
175	20/03/	5/04/	30/03
176	21/03/	30/03/	30/03
*177	21/03/	21/03/	30/03
178	22/03/	4/04/	03/04
179	22/03/	4/04/	03/04
180	22/03/	4/04/	03/04
181	22/03/	31/03/	03/04

N° des Tâches	D. TOT	D. TARD	D. PREVUES
182	22/03/	31/03/	03/04
183	22/03/	04/04/	04/04
184	22/03/	7/04/	04/04
185	23/03/	27/03/	04/04
*186	23/03/	23/03/	05/04
187	24/03/	28/03/	05/04
188	24/03/	31/03/	06/04
*189	24/03/	24/03/	06/04
190	24/03/	4/04/	06/04
191	24/03/	4/04/	06/04
192	24/03/	29/03/	06:04
193	27/03/	30/03/	07/04
194	27/03/	3/04/	07/04
195	28/03/	31/03/	07/04
196	28/03/	4/04/	10/04
197	29/03/	3/04/	07/04
198	29/03/	3/04/	11/04
199	30/03/	17/04/	12/04
200	30/03/	5/04/	12/04
201	30/03/	6/04/	13/04
202	30/03/	7/04/	13/04
203	30/03/	7/04/	13/04
*204	31/03/	1/03/	14/04
*205	31/03/	1/03/	14/04
206	31/03/	7/04/	14/04
207	4/04/	4/04/	18/04
*208	4/04/	4/04/	18/04
209	5/04/	7/04/	19/04
*210	5/04/	5/04/	19/04
211	6/04/	6/04/	20/04
*212	6/04/	6/04/	20/04
*213	6/04/	6/04/	20/40
*214	6/04/	6/04/	20/04
*215	10/04/	10/04/	24/04
*216	11/04/	11/04/	25/04

N° des Tâches	D. TOT	D. TARD	D. PREVUES
217	12/04/	18/04/	26/04
*218	12/04/	12/04/	26/04
219	12/04/	18/04/	26/04
220	12/04/	14/04/	26/04
221	12/04/	13/04/	26/04
222	12/04/	17/04/	27/04
223	12/04/	13/04/	27/04
*224	12/04/	12/04/	27/04
225	13/04/	19/04/	27/04
226	13/04/	17/04/	27/04
227	13/04/	17/04/	27/04
228	13/04/	14/04/	28/04
229	13/04/	18/04/	28/04
230	14/04/	17/04/	28/04
*231	14/04/	14/04/	01/05
232	17/04/	18/04/	02/05
233	17 /04/	19/04/	02/05
234	17/04/	18/04/	02/05
*235	17/04/	17/04/	02/05
*236	18/04/	18/04/	08/05
*237	19/04/	19/04/	03/05
*238	21/04/	11/04/	04/05
*239	24/04/	14/04/	09/05
*240	25/04/	25/04/	10/05
*241	28/04/	18/04/	15/05
*242	28/04/	18/04/	16/05
*243	1/05/	1/05/	16/05
*244	12/05/	2/05/	29/05
*245	12/05/	2/05/	30/05
*246	15/05/	5/05/	31/05
*247	17/05/	7/05/	02/06

DESCRIPTION SIMPLIFIEE DU  
PROJECT de Microsoft ®  
(Progiciel de Gestion de projets)

PRESENTATION GENERALE :

PROJECT se présente comme un progiciel de planification et de suivi de projets. Faisant preuve d'une souplesse d'emploi et d'une polyvalence, il offre de nombreuses possibilités :

- Etablissement et mise au point de planning de base ;
- Calcul des délais et des coûts ;
- Affectation de ressources ;
- Actualisation du planning et suivi de son avancement, notamment par comparaison au planning prévisionnel ;
- Optimisation des plannings (en faisant varier les paramètres Activités, Ressources, Coûts, en vue de réduire les délais, diminuer les dépenses ou mieux coordonner l'utilisation des ressources) au fur et à mesure que le projet progresse ;
- Fusion de plusieurs sous-projets dans un projet principal.

L'examen du projet peut se faire sous deux optiques différentes :

- Sous forme d'un diagramme de GANTT, organisé en fonction du temps ;
- Sous forme de graphique PERT, axé plutôt sur la hiérarchie d'exécution.

Configuration nécessaire :

Tout ordinateur individuel tournant sous le système d'exploitation MS - DOS version 2.0 ou ultérieure, et possédant une capacité de 256 Ko de mémoire.

Structure :

PROJECT de Microsoft ® dispose de sept écrans :

- L'écran Activité (ou écran GANTT) ;
- L'écran Calendrier ;
- Les écrans standards de Calendrier ;
- L'écran Ressources ;
- L'écran Regard ;
- L'écran PERT ;
- L'écran Analyse.

Sur les écrans Activité, Calendrier et Ressources, nous pouvons saisir des informations pour l'un des trois éléments de projet : Le planning proprement dit, le Calendrier de travail et les moyens mis en oeuvre. Les données saisies sur chacun de ces écrans sont également exploitées dans les autres, mais les informations issues de chaque écran sont stockées dans des fichiers séparés sur le disque.

## Les écrans :

L'écran Activité, organisé en fonction du temps, se compose d'une échelle de temps graduée (tout en haut de l'écran) pouvant utiliser huit unités allant de la minute au semestre et d'une colonne (à gauche de l'écran), dans laquelle on introduit les différentes activités.

La saisie de chaque activité s'effectue simplement en définissant son nom, sa durée, ses antécédents.

Dès l'introduction d'une nouvelle donnée, le logiciel met à jour le planning et le chemin critique lui correspondant sur le diagramme de GANTT (à droite de l'écran) ainsi que la marge totale. A chacune des tâches définies, sont affectées des ressources. Ces dernières sont désignées en nature (personnel, matériel ou fournitures) et quantité et leur coût unitaire respectif peut être précisé.

L'écran Calendrier est prévu pour contenir les informations concernant le calendrier du projet, telles que l'étendue, les jours ouvrables et les jours chômés, la semaine standard. Il donne accès à un deuxième écran : L'écran Standard du Calendrier sur lequel chaque journée est divisée en vingt-quatre (24) heures découpées elles-mêmes en quatre-vingt-seize (96) tranches de un quart (1/4) d'heure, pour nous permettre de spécifier la journée standard de travail ainsi que les "dates" de début et fin de travail.

L'écran Ressources récapitule les moyens mis en oeuvre et leurs coûts. PROJECT copie aussi automatiquement ces informations à partir des désignations saisies au niveau de l'écran Activité.

A partir de l'écran Ressources on peut accéder à l'écran Regard. Ce dernier se divise en deux zones. Celle de gauche affiche une liste des activités utilisant la ressource sélectionnée tandis que dans la zone droite apparaît un histogramme indiquant son degré d'utilisation.

L'écran PERT est un complément à l'écran Activité qui lui affiche le planning sous forme de diagramme de Gantt organisé "en fonction du temps". En effet, cet écran affiche le planning sous forme de graphique PERT, qui privilégie les "relations entre activités", mais ne permet que sa visualisation.

L'écran Analyse n'est accessible qu'à partir de l'écran Activité. Il affiche simultanément - pour permettre leur comparaison en permanence - le planning "courant" et le planning "prévisionnel". Ce dernier regroupe les informations relatives aux activités, au calendrier et aux ressources saisis au moment de la première élaboration du planning. Dès lors aucune modification n'est possible, alors que le planning "courant" représente le document de travail sur lequel



modifications et remaniements sont réalisés au fur et à mesure que le projet se déroule.

Pour travailler avec de grands projets :

Une liaison est une connexion permanente entre deux fichiers. Créée au moyen de la commande "Xterne Liaison", elle permet d'utiliser dans le projet en cours (dit "projet principal") des informations issues d'un autre (dit "projet externe"). Lorsque nous définissons une liaison, le "projet externe" intégral devient une seule activité dans le "projet principal".

Nous pouvons lier les projets de façons variées (cf. fig. A.2 et fig. A.3)..

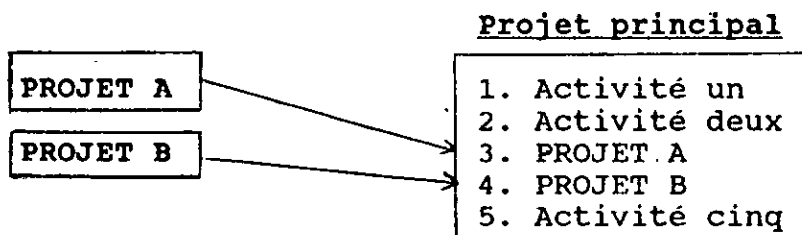


fig. A.2

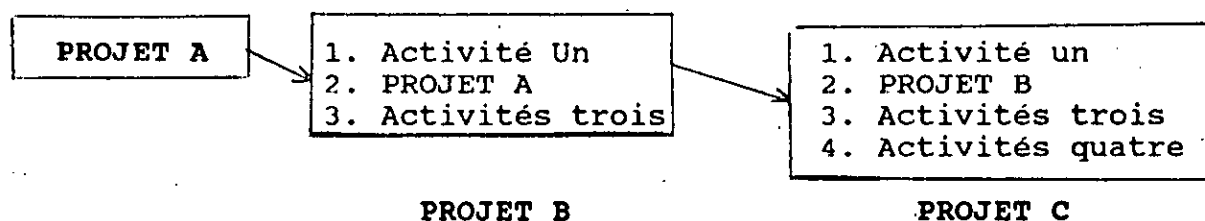


fig. A.3

Les données de PROJECT de Microsoft peuvent être directement transférées à d'autres logiciels Microsoft tels que Multiplan et Chart, ainsi qu'à Lotus 1-2-3 ou dBASE-II (R) et ceci grâce à la commande "Xporte". Nous pouvons ainsi, en manipulant les coûts par exemple, élaborer des outils financiers (plan de trésorerie, un compte de résultat prévisionnel ou un bilan provisoire) ou de gestion (gestion des stocks, ...).