

10/91

24

وزارة الجامعات

Ministère aux Universités

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

BIBLIOTHEQUE — المكتبة

Ecole Nationale Polytechnique

# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DÉPARTEMENT

GENIE

INDUSTRIEL

## PROJET DE FIN D'ETUDES

### SUJET

DIMENSIONNEMENT DU PARC MATERIEL

DE SERVITUDE POUR UNE

ESCALE DONNEE

Proposé par :

M. Yahiaoui

Etudié par :

S. Cadi

Dirigé par :

M. Sari

PROMOTION

Juin 1991

## REMERCIEMENTS

Je tiens avant toute chose à remercier mon promoteur Mr H.SARI, enseignant au département de Génie Industriel à l'Ecole Nationale Polytechnique, qui n'a ménagé ni son temps, ni son énergie pour m'aider à mener à bien cette étude. Je le remercie encore, et je ne le ferai jamais assez.

Je remercie aussi Mr M.YAHYAOUÏ, Directeur du projet H400, de l'honneur et de la confiance qu'il m'a témoigné en me confiant cette étude.

A Mr A.ARKOUB, j'exprime toute ma reconnaissance pour tous les conseils et les indications qu'il m'a prodigué lors de mes investigations.

Que ceux qui ont participé de près ou de loin à la finalisation de ce document, trouvent ici l'expression de ma plus profonde reconnaissance.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

CHAPITRE 1

PRESENTATION DE LA COMPAGNIE AIR-ALGERIE ET POSITIONNEMENT DU PROBLEME.....	4
I.1- <i>Présentation de la Compagnie Air-Algérie</i> .....	4
I.2- <i>Présentation de l'escale d'Alger</i> .....	4
1.3- <i>Définitions de base</i> .....	5
1.4- <i>Positionnement du problème</i> .....	7
1.5- <i>Outils de résolution</i> .....	28

CHAPITRE II

ETAT DE L'ART .....	31
II.1- <i>Etude réalisée par Air-Algérie</i> .....	31
II.2- <i>Travaux réalisés à l'étranger</i> .....	32

CHAPITRE III

PREMIERE APPROCHE DE TRAITEMENT .....	41
III.1- INTRODUCTION .....	43
III.2- FORMULATION MATHEMATIQUE .....	43

CHAPITRE IV

IV- DEUXIEME APPROCHE DE TRAITEMENT .....	50
IV.1- Généralités .....	51
IV.2- Concepts fondamentaux .....	53
IV.3- La modélisation .....	55
IV.4- Différents types de simulation .....	55
IV.5- Langages de simulation .....	57
IV.6- SLAM II .....	58
IV.7- Méthodologie de la programmation .....	60
IV.8- Modélisation et mise en oeuvre .....	63

CHAPITRE V

V- MISE EN OEUVRE DU MODELE DE SIMULATION ET ANALYSE DE L'OUTPUT .....	83
V.1- Mise en oeuvre .....	83
V.2- Analyse de l'output .....	83
V.3- Parc opérationnel et parc technique .....	86
V.4- Critères d'évaluation des solutions .....	87

CHAPITRE VI

CONCLUSION ET SUGGESTIONS .....	93
---------------------------------	----

BIBLIOGRAPHIE .....

ANNEXES .....

# INTRODUCTION

## INTRODUCTION

Non, décidément, voler n'est pas facile !

Même dans ses rêves les plus fous, Icare avait de la peine à imaginer qu'un jour, l'un des rêves les plus fabuleux de l'humanité allait se réaliser. Pourtant, l'avion, invention relativement récente puisqu'elle remonte seulement au début du siècle, a suivi une évolution si rapide qu'il est difficile de voir en nos supersoniques actuels le descendant de ces "monstres volants" qui hantèrent les cieux de la préhistoire de l'aviation.

Mais si Icare s'était douté de l'ampleur des efforts qu'il a fallu - et qu'il faut continuellement - fournir, de la complexité de ce domaine et de sa très haute technicité, il aurait peut être compris que son rêve n'était, après tout, qu'un ... rêve, une illusion, une chimère !

En effet, si l'aviation a atteint le niveau de performance, de sécurité, d'efficacité et de confort qu'on lui connaît aujourd'hui, c'est au prix d'efforts à la fois énormes et soutenus. En fait, le secteur du transport aérien, de par ses spécificités, nécessite des investissements colossaux, mais peut générer, en revanche, lorsqu'il est bien maîtrisé, des bénéfices tout aussi considérables. Aussi, est-il soumis à une compétition effrénée de la part des compagnies aériennes.

Soucieuse d'améliorer son image de marque auprès de sa clientèle et de gérer rationnellement ses ressources tant humaines que matérielles, la compagnie Air-Algérie a initié un ensemble de

projets qui devrait lui permettre, à terme, de concrétiser ses objectifs. C'est dans ce cadre-là que s'insère cette étude, qui consiste à dimensionner un parc de matériel de servitude permettant de traiter efficacement et au moindre coût, l'ensemble des aéronefs se posant sur l'aéroport Houari Boumediene.

Pour ce faire, le chapitre I présentera la compagnie Air-Algérie (AH) ainsi que le problème soulevé, qui sera étudié sous ses différents aspects tant théoriques que pratiques. Le chapitre II permettra de faire le tour des principaux travaux réalisés dans ce domaine. Le chapitre III, quant à lui, fera l'objet d'une première approche de traitement du problème. Le chapitre IV sera consacré à la présentation du second outil d'investigation, outil que nous mettrons en oeuvre dans le chapitre V. Enfin, certaines suggestions seront formulées dans le sixième et dernier chapitre, qui se terminera par une conclusion générale.

# CHAPITRE I

## CHAPITRE I

### PRESENTATION DE LA COMPAGNIE AIR-ALGERIE

ET

### POSITIONNEMENT DU PROBLEME

## I- PRESENTATION DE LA COMPAGNIE ET POSITIONNEMENT DU PROBLEME

### I.1- Présentation de la Compagnie Air-Algérie

La compagnie Air-Algérie fut créée en 1947. Elle fut nationalisée à 51% en 1966, puis à 83% en 1970, pour devenir exclusivement algérienne, dès 1972. Elle dessert la majorité des villes du pays, ainsi que de nombreuses villes étrangères avec lesquelles elle enregistre un trafic important en plein essor. Actuellement, elle possède une flotte composée de huit (08) Fokker 27, quinze (15) Boeing 737, onze (11) Boeing 727, trois (03) Boeing 767, et de deux (02) Airbus 767 pour le transport des passagers. Sa flotte cargo est constituée, quant à elle, d'un (01) Boeing 737 et de trois (03) Hercules.

Comme toute entreprise commerciale, Air-Algérie cherche à rentabiliser au maximum sa flotte en intensifiant son trafic, et en étalant son réseau pour un même parc d'aéronefs.

### I.2- Présentation de l'escale d'Alger

Au niveau de l'escale d'Alger (Aéroport Houari Boumediene) il y a lieu de noter qu'en période de pointe, les services de l'escale ont eu à faire face au traitement simultané de vingt (20) avions en moyenne. Il y eu même des périodes où l'ensemble des parkings étaient occupés et des avions ont été traités au niveau des parkings et des bretelles, soit plus de trente (30) avions.

Cet état de fait avait été engendré par un programme de base important auquel se sont greffés des vols supplémentaires (des vols "Pèlerinage" et des vols "Cargo" occasionnels) ainsi que de très nombreux vols retardés.

### I.3- Définitions de base

Le système général peut être décrit par un ensemble d'activités, A, qui "puisent" dans un ensemble de ressources, R, conformément à certaines règles et en respectant différentes contraintes.

#### I.3.1- Ensemble des ressources R:

Il est composé d'unités de ressources qui peuvent être classées selon leur fonction ainsi que le caractère des contraintes qui définissent leur disponibilité. Les ressources qui accomplissent la même fonction constituent un même type (les ressources d'un même type n'ont pas <sup>(a)</sup> être identiques).

Le second facteur de classification définit trois catégories de ressources:

- Ressources renouvelables, pour lesquelles les contraintes de disponibilité concernent uniquement l'utilisation à un instant quelconque.

- Ressources non renouvelables, pour lesquelles les contraintes de disponibilité portent sur les quantités consommées à un instant donné, et,

- Ressources à "contraintes mixtes", qui sont régies par les deux types de contraintes précédentes.

Habituellement, les ressources telles que la main d'oeuvre, les machines et équipements sont considérées comme renouvelables, alors que l'argent, les combustibles et les matières premières sont classées comme non renouvelables.

### I.3.2- Ensemble des activités A:

Cet ensemble est composé de  $n$  activités  $A_i$ , chacune définie par:

- La date de début,  $a_i$
- La date de fin attendue,  $b_i$
- Les ressources nécessaires à son accomplissement, dont les quantités peuvent être discrètes ou continues.

- Le modèle mathématique de performance (rendement de l'activité  $A_i$  en fonction des ressources qui lui sont fournies).

- Les contraintes de précedence: l'ensemble  $A$  est partiellement ordonné par une relation  $\nabla$  qui spécifie l'ordre dans lequel s'effectuent les différentes activités:

$A_i \nabla A_j$  signifie que l'activité  $A_i$  doit se terminer pour que l'activité  $A_j$  puisse commencer. Ces relations de précedence sont généralement représentées par un réseau dirigé.

- Un critère d'optimalité  $Z$  pour la performance de l'ensemble  $A$ , qui peut être :

\* Une mesure de Temps, telle que la durée totale des

activités de A, le retard maximum, etc. ou,

\* Une mesure de Coût, telle que le coût total des opérations, la consommation des ressources non renouvelables, etc.

#### I.4- Positionnement du problème

L'objet de ce travail est le dimensionnement du parc optimal de matériel de servitude nécessaire au traitement des avions, dans une escale donnée. La mise en ligne des avions commerciaux nécessite une flotte importante de véhicules et engins aéroportuaires pour la prise en charge des passagers, des bagages, du fret et du courrier. En fonction du programme journalier de l'escale considérée, le parc opérationnel requis sera évalué. Cette évaluation tiendra compte des éléments suivants:

- Les types d'avions.
- Les heures de départ et d'arrivée.
- Les temps d'escales offerts au traitement des aéronefs.
- La disposition des postes de traitements des aéronefs.

Pour le traitement des différents appareils, la compagnie Air-Algérie doit posséder un parc de matériel de servitude conséquent. Cependant, la contrainte budgétaire limite la compagnie dans sa marge de décisions pour l'établissement d'un plan d'investissements annuels. Cet état de fait entraîne apparemment la situation suivante: La politique suivie est une politique d'acquisition et non une politique de maintenance. Il

suffit pour s'en convaincre de parcourir l'ensemble de l'espace aeroportuaire de Dar-El-Beida et de dénombrer le matériel hors d'usage. L'exemple le plus significatif est celui des chariots à bagages. Ceux-ci sont utilisés par de nombreux services, sans y avoir droit, et lors d'une panne la plus sommaire -la crevaison d'un pneu par exemple- ils sont abandonnés. Le reste des chariots en état de fonctionner est soumis à une sur-utilisation, ce qui accélère son processus d'usure.

Lors de l'acquisition d'un appareil pour une somme de x millions de dollars, l'acquisition du matériel de servitude nécessaire à son traitement, d'un coût moindre de l'ordre de  $x \cdot 10E-2$  ou  $x \cdot 10E-1$ , ne se fait pas automatiquement. Il ressort que le parc avion augmente, alors que le parc matériel stagne, et plus grave encore, il diminue; comme il a été démontré précédemment, la maintenance du matériel de servitude ne semble pas être un objectif prioritaire.

#### I.4.1- Objet du problème

Une fois l'évaluation du parc opérationnel achevée, le parc optimal nécessaire sera déterminé. Cette évaluation prendra en considération les éléments suivants:

- L'entretien programmé du matériel.
- La prise en charge des arrêts imprévisibles (fiabilité, accidents, incidents, etc).

Dans toute évaluation budgétaire, et ce dans un souci d'efficacité et d'économie, il est important de connaître avec précision les quantités de ressources nécessaires au bon fonctionnement du système. Il est clair qu'une sur-évaluation des besoins entraînerait une augmentation des quantités commandées, donc des dépenses supplémentaires, et surtout une sous-utilisation du matériel ainsi acquis. A cela il faut ajouter les coûts afférents aux problèmes de stockage et à la maintenance ainsi engendrés. Il ressort donc qu'un mauvais investissement aura été effectué. Inversement, une estimation à la baisse générerait une sur-utilisation du matériel, qui serait alors utilisé à un taux supérieur à celui fixé par les normes des constructeurs. L'usure se fera alors plus rapidement et le processus de destruction sera plus rapidement entamé. De plus, le résultat de cette déficience en matériel entraînera une impossibilité de réponse à la demande, générant ainsi des coûts, qui à long terme pourraient se révéler supérieurs aux investissements qui auraient dû être faits.

L'objectif final recherché à travers cette étude est la mise au point d'un logiciel qui serait mis à la disposition des services opérationnels dans le cadre des négociations budgétaires qui leur permettrait de déterminer avec précision et exactitude les quantités de matériel à commander.

#### I.4.2- Classification des aéronefs

Les avions susceptibles d'atterrir sur l'aéroport d'Alger sont de caractéristiques différentes. Il existe cependant des similitudes entre des appareils de constructeurs différents. Nous utiliserons alors, pour identifier les différents aéronefs, la classification définie par Air-Algérie, afin d'éviter toute confusion entre les différents modèles et marques.

La principale distinction entre les appareils se situe au niveau de la capacité maximale en passagers. Il existe plusieurs catégories de porteurs : les petits, les moyens et les gros porteurs. Au sein de ces trois classes certaines distinctions sont nécessaires. On distingue:

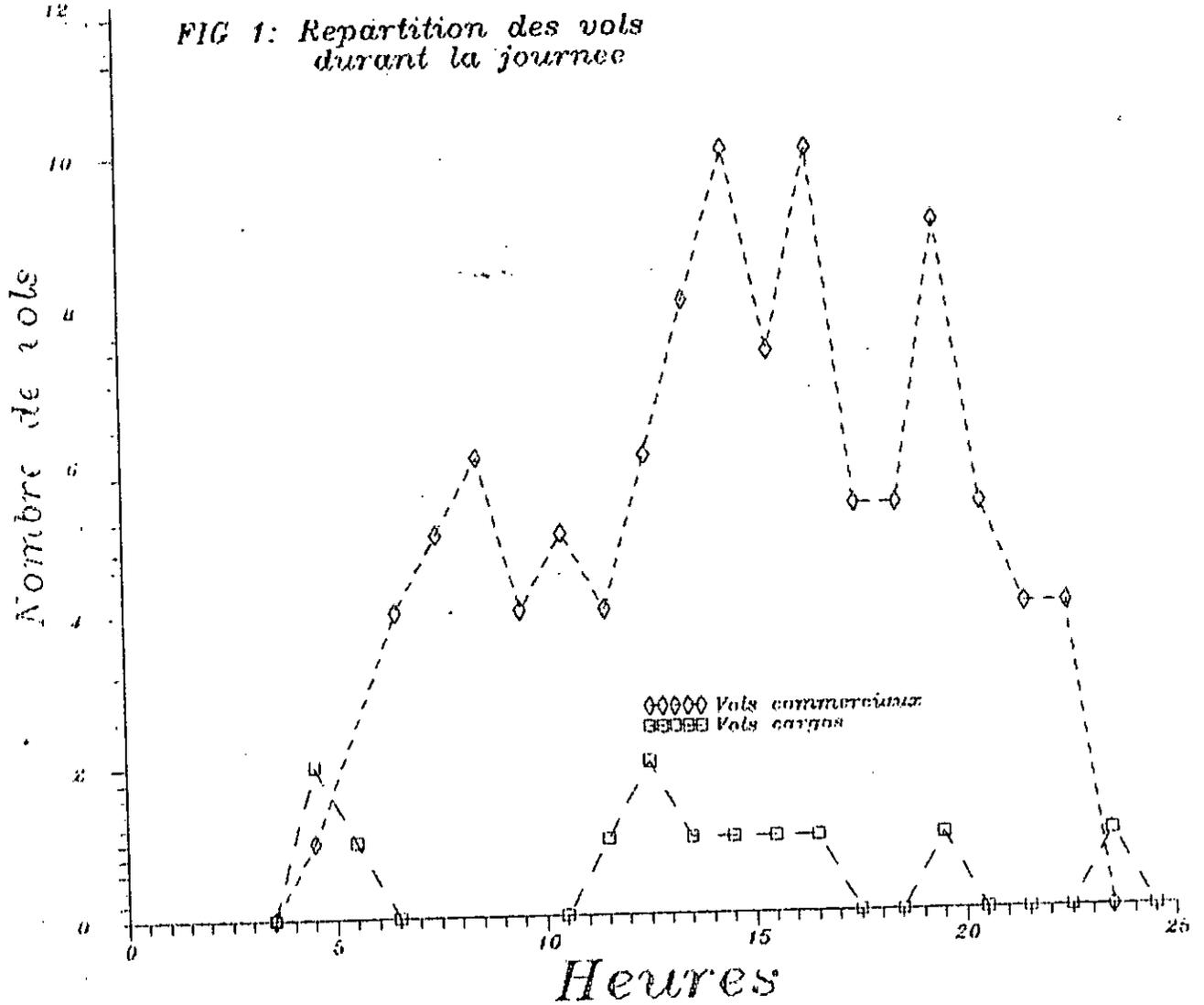
- Le Fokker 27.
- Le Boeing 737 et le Mc. Donnell-Douglas DC9 dans sa petite version.
- Le Boeing 727, le DC9 dans une version supérieure, et le Tupolev 54.
- Le Boeing 767 et l'Airbus A320.
- Le Boeing 747, le Lockheed (Tristar) et l'Iliouchine.
- L'Hercule L382 et le Boeing 737 dans sa version cargo.

On attribue ainsi aux différentes classes les labels suivant:

Fokker 27	Mod1
Boeing 737	Mod2
Boeing 727	Mod3
Boeing 767	Mod4
Boeing 747	Mod5
Hercule L382	Mod6

### I.4.3- Etude des plages horaires

Une étude approfondie du programme quotidien permet de constater qu'il existe des plages horaires (12h00-14h00, 16h00-18h00 et 19h30-21h30) pendant lesquelles le nombre de vols est plus important que pendant le reste de la journée.



Le parc matériel nécessaire aux différentes opérations doit donc être prévu en conséquence. Une approche simpliste nous porterait à croire qu'une certaine quantité de matériel suffirait et qui serait utilisée successivement à chaque arrivée. Cette approche serait valable dans le cas où les durées inter-arrivées sont plus importantes que les durées des opérations de touchées. Le matériel est alors libre à chaque arrivée d'aéronef.

Une approche plus élaborée offre un éventail plus important de situations. Si le dimensionnement se base sur la plage horaire la plus chargée, il sera probablement sur-estimé par rapport aux besoins pendant le reste du temps. Inversement, si le parc est évalué à partir de plages horaires relativement creuses, la compagnie enregistrera alors des retards dans le traitement des aéronefs. La question est alors de savoir quel retard maximum peut tolérer Air-Algérie ?

Un problème de même nature, mais portant sur les saisons celui-ci, se pose. En effet, le service de programmation d'Air-Algérie (Direction Commerciale) doit établir des programmes qui varient au cours de l'année. On distingue ainsi le programme "été" du programme "hiver", auxquels vient se greffer le programme "pèlerinage". Il est donc normal de s'interroger sur l'existence de périodes chargées et de périodes creuses durant l'année. Ainsi, les demandes enregistrées varient selon les saisons. Celles-ci se répartissent de la manière suivante : les mois de février, mars, avril, mai, octobre et novembre forment ce que l'on pourrait

appeler la "basse saison", comparée à la "haute saison" constituée des mois de janvier, juin, juillet, août, septembre et décembre. La répartition des deux saisons est du même ordre : six (06) mois pour la première, et six autres mois pour la seconde.

#### I.4.4- Planning de vols et perturbations

La Direction Commerciale d'Air-Algérie fixe les destinations des différents appareils appartenant à la compagnie et les horaires des départs et des arrivées. Le planning étant ainsi consigné, il arrive cependant que des arrivées ou des départs non programmés viennent se greffer ou perturber le programme précédemment établi. La répercussion de ces deux types d'événements se fait sentir lorsqu'il s'agit du dimensionnement du parc de matériel de servitude. En effet, lorsqu'il s'agit d'événements certains, le parc est automatiquement déterminé, puisque les quantités de matériel pour chaque type d'appareil sont connues. Inversement, lorsqu'il s'agit d'événements aléatoires qui viennent se greffer au programme quotidien, les quantités de matériel peuvent se révéler insuffisantes. C'est cette insuffisance de ressources qui provoquera un ralentissement dans l'exécution simultanée des opérations qui ont lieu à chaque escale, exécution qui s'avèrera de plus en plus difficile, voire impossible, avec l'augmentation du nombre de vols non prévus. Ce

ralentissement n'a pour autre aboutissement logique que l'enregistrement de retards dans le processus de touchée des appareils.

C'est pour cela que lors du dimensionnement du parc de matériel une certaine marge de sécurité est à prévoir, et ce en fonction de l'efficacité que l'on veut apporter au système.

#### I.4.5- Etude pratique

Il a été nécessaire, pour un essai de compréhension et d'assimilation du fonctionnement du système, lequel est constitué par l'ensemble des aéronefs, du matériel de servitude, du potentiel humain et des relations qui les lient les uns aux autres, de séjourner de nombreuses fois sur le terrain. En effet, une visite de tous les services s'est révélée impérative afin d'observer les différents modes opératoires. Nous sommes parvenus à la constatation suivante : il y a une formidable fièvre qui habite le personnel d'Air-Algérie souvent débordé à cause du manque de matériel. Toutes les solutions, voire tous les palliatifs, sont alors envisagés, afin d'éviter les retards, ou de limiter les retards occasionnés.

Les tâches sont les mêmes, quels que soient l'année, la saison, le mois, le jour ou l'heure. Néanmoins, les durées varient sensiblement selon les plages horaires où les opérations ont lieu. En effet, les opérations effectuées le matin sont plus rapides que

celles effectuées l'après-midi. Il s'agit bien évidemment de la même tâche sur un même type d'appareil. La variation enregistrée est de l'ordre de deux (02) à trois (03) minutes.

Une seconde cause de ces variations est le jour où ont lieu ces opérations. Les opérations se font plus rapidement le vendredi que les autres jours, ce qui est dû au fait que le personnel administratif d'Air-Algérie ne travaille pas ce jour-là et que seules les équipes opérationnelles occupent alors la plateforme de l'aéroport. L'encombrement et la gêne dans l'accomplissement des tâches est donc moins important. La variation enregistrée est du même ordre que la précédente.

Il est aussi évident que le mois où se déroulent les opérations a son importance. Des opérations effectuées en octobre, décembre, janvier ou en mars n'ont pas la même durée. La plupart des opérations nécessitent une présence sur le terrain, à l'air libre, et les conditions climatiques peuvent influencer sur leur déroulement. A titre d'exemple, une pluie battante gêne considérablement les équipes de déchargement de bagages.

Pour un même type d'appareil, les opérations de touchée peuvent demander des durées différentes selon qu'il s'agit d'un vol de prestige, (ex: Alger-Paris) ou d'un vol classique (ex: Alger-Tamanrasset), car les contraintes ne sont pas tout à fait les mêmes. Pour un vol de prestige les moyens mis en oeuvre sont plus importants. La destination de l'appareil est aussi un facteur important.

La collecte des données (le chronométrage des durées des différentes opérations notamment) a nécessité un temps considérable, en raison du grand nombre et de la diversité des paramètres à observer. Tous ces paramètres ainsi que les variations auxquelles ils sont sujets, renseignent sur le temps passé à chronométrer les différentes opérations, et ce dans des proportions représentatives.

#### I.4.6- Présentation des différents services de touchée et description du matériel utilisé

La compagnie Air-Algérie doit assurer au sein de l'aéroport d'Alger Houari Boumediene l'assistance technique de tous les aéronefs s'y posant. C'est pour cela qu'il existe, au sein même de la zone technique de l'aéroport une "Direction de la Logistique" qui, comme son nom l'indique, a pour fonction la gestion, la distribution et l'entretien du matériel de servitude attribué aux différents services opérationnels pour l'exécution des différentes opérations de touchées "transit". Les quantités de matériel doivent répondre aux normes de traitement des aéronefs, conformément à la note de service n°010/83 du 20 Février 1983 établie par la Direction des Opérations d'Air-Algérie [3]. Des normes de traitement en escale pour une touchée "transit" des différents types d'aéronefs ont été définies. Elles font ressortir les éléments suivants:

- Temps d'escale.
- Chronologie des interventions.
- Temps alloué à chaque opération.
- Moyens humains et matériels nécessaires.

Les moyens humains et matériels pour chaque opération et par type d'aéronef doivent être mis en oeuvre pour permettre un traitement efficace et dans les délais impartis. Il faut noter qu'il existe des variations en moyens matériels, en moyens humains et en temps de service pour des types d'aéronefs différents.

Au départ et à l'arrivée de chaque aéronef, un certain nombre d'opérations sont effectuées dans un ordre précis, dont les durées sont surveillées, et ce dans un souci de respecter les temps impartis par les normes internationales établies par l'International Air Transport Association (IATA) autrement dit, l'Association Internationale du Transport Aérien, qui est une organisation internationale dont le siège est au Canada. Cependant, ces normes tendent vers des valeurs limites, et il convient donc, dans un souci d'honnêteté, de les adapter aux escales considérées, en tenant compte de différents facteurs tels que le pays considéré, les infrastructures aéroportuaires existantes, le type de voyageurs, etc. Les temps associés à chaque type de tâches varient avec le type de l'aéronef. Par exemple, il est clair que la procédure de chargement de bagages sur un Boeing 737 diffère de celle d'un Boeing 747. Une description détaillée des différentes activités sera donnée par la suite afin de

permettre une meilleure compréhension du phénomène.

### 1- L'assistance technique

Constituée d'une équipe formée d'un mécanicien et d'un aide mécanicien se déplaçant dans un véhicule de liaison, l'assistance technique est avertie par radio de l'arrivée de l'appareil. Elle opère dès l'arrêt complet de l'appareil; ses interventions se limitent à la réparation de petites avaries (fusibles électriques, remplacement d'un carreau du cockpit, etc), et au jaugeage du niveau d'huile et du niveau de carburant. Lorsque les interventions sont plus importantes, l'appareil est alors conduit aux ateliers et remplacé, ce qui constitue une source de perturbations dans l'utilisation du matériel de servitude. En effet, la quantité de matériel prévue sera différente de la quantité nécessaire, et ce par le fait qu'un appareil accusera un certain retard.

Le tableau suivant indique les moyens humains, matériels et le temps d'intervention pour chaque type d'appareil.

	Mod1	Mod2	Mod3	Mod4	Mod5	Mod6
Mécanicien	1	1	1	1	1	1
Aide-mécanicien	1	1	1	1	1	1
Véhicule de liaison	1	1	1	1	1	1
Temps d'intervention (mn)	40	45	50	75	92	-

Le coût d'un véhicule de liaison est de 0.356 U.M .

L'U.M étant le million de dinars algériens.

## 2- Mise en place matériel

Le matériel de première nécessité pour le traitement d'un aéronef est: un véhicule de traction de chariots, un groupe électrique fournissant à l'appareil le courant électrique nécessaire pour certaines opérations au sol, un escabeau, tracté ou autotracté selon le type de l'appareil, et des cales permettant l'immobilisation totale de l'appareil.

La mise en place est effectuée par une équipe constituée de chauffeurs et de manutentionnaires dont le nombre varie selon le type de l'appareil. La durée de la mise en place est elle aussi variable. Les données sont résumées dans le tableau suivant :

	Mod1	Mod2	Mod3	Mod4	Mod5	Mod6
V. Tract	1	2	2	1	1	1
Groupe électrique	1	1	1	1	1	1
Passerelle autotractée	-	-	1	2	2	1
Passerelle tractée	-	1	-	-	-	-
Passerelle Mod1	1	-	-	-	-	-
Cales	2	2	2	4	4	4
Chauffeurs	1	2	2	3	3	2
Manutentionnaires	2	4	4	2	2	2
Temps d'intervention (mn)	1	1	1	2	2	1

Les coûts sont les suivants :

V. tract (véhicule tracteur) : 0.848925 U.M.

Groupe élec. (groupe électrique) : 2.89 U.M.

Escabeau AT (escabeau auto-tracté) : 2.7924 U.M.

Escabeau T (escabeau tracté) : 0.7653 U.M.

Escabeau Mod1 : 0.004 U.M.

Cales : 0 U.M.

### 3- Débarquement des passagers

Dès l'atterrissage de l'aéronef, la tour de contrôle avertit le service "accueil" qui va prendre en charge les passagers lors de leur transfert de l'avion à l'aérogare. Pour cela, il existe à la disposition de ce service un parc d'autobus dont la taille varie avec le type des appareils: grande capacité, moyenne capacité et petite capacité.

Le tableau suivant indique le nombre et le type de bus, ainsi que le nombre d'hôtesse nécessaires en fonction du type d'avion.

	Mod1	Mod2	Mod3	Mod4	Mod5	Mod6
Bus petite capacité	-	1	1	1	-	-
Bus moyenne capacité	1	2	-	-	-	-
Bus grande capacité	-	-	2	3	6	-
Véhicule de liaison	-	-	-	-	-	1
Hôtesse	2	3	3	4	7	-
Temps d'intervention (mn)	6	8	9	10	15	5

Les coûts des bus varient avec leur taille. Les coûts suivants ont été enregistrés:

Type de ressources	Prix unitaire CUM
Bus petite capacité	1.6
Bus moyenne capacité	2.5725
Bus grande capacité	5.145

#### 4- Déchargement des soutes

Cette opération de déchargement de bagages peut être effectuée avant que les passagers ne soient entièrement descendus de l'appareil.

Il existe toute une panoplie de chariots, de containers, et de palettes selon le type d'appareil considéré. Une fois les soutes ouvertes, les containers/palettes sont déchargés sur des porte-containers/palettes qui seront remorqués jusqu'à l'aérogare où les bagages seront restitués; dans d'autres cas, les bagages sont directement chargés sur un chariot, puis acheminés vers l'aérogare.

L'équipe de déchargement des soutes est constituée d'un "chef avion" qui supervise le travail, de chauffeurs, de chargeurs et de manutentionnaires.

Le tableau suivant donne le détail de l'opération de déchargement des soutes.

	Mod1	Mod2	Mod3	Mod4	Mod5	Mod6
V. Tract	1	2	2	2	2	1
Chariots	2	10	10	4	6	2
Tapis élévateur	-	-	1	1	1	-
Plateformes	-	-	-	2	2	1
Chariots portes-cont.	-	-	-	16	24	-
Chariots portes-pal.	-	-	-	6	12	16
Container	-	-	-	8	12	-
Rack fixe de stock	-	-	-	8	12	8
Palettes	-	-	-	3	6	8
Chef avion	1	1	1	1	1	1
Chauffeurs	1	2	2	2	2	-
Chargeurs	-	-	-	2	2	-
Manutentionnaires	-	6	6	8	8	-
Temps d'intervention (mn)	5	13	20	15	20	20

Les coûts des différents types de matériel sont les suivants:

Type de ressources	Prix unitaire (UMD)
V. Tract	0.848925
Chariots	0.015
Tapis élévateur	1.28625
Plateformes	4.82343
Chariots porte-cont.	0.093253
Chariots porte-pal.	0.17364375
Container	0.0643
Rack fixe de stock.	0.032
Palette	0.019
Remorque frét	1.286

### 5-Service toilettes

Ce service a pour fonction de collecter les eaux usées des avions. Il procède de la manière suivante: il vient placer un tuyau sous une bouche située à l'extérieur de l'appareil. Les eaux usées sont ainsi transférées dans un camion citerne. Cette opération ne peut se faire qu'à la fin du débarquement des passagers.

	Mod1	Mod2	Mod3	Mod4	Mod5	Mod6
Camion citerne	1	1	1	1	1	1
Chauffeur	1	1	1	1	1	1
Temps d'intervention (mn)	5	10	10	20	25	10

Le coût d'un camion vide-toilette est de 2.058 U.M.

### 6- Service eau potable

Pour des besoins divers, chaque appareil dispose à son bord d'une réserve d'eau potable. Cette eau est acheminée vers l'aéronef dans un camion citerne et le mode opératoire est le même que le précédent. Le nombre de camions citernes pour chaque type d'avion est le même, soit un (1) seul camion citerne. La durée d'intervention est aussi constante, quelque soit le type d'avion, car il s'agit d'une opération d'appoint, les cuves n'étant pas toujours vides à l'atterrissage. Cette opération ne dure que cinq (05) minutes. De même que pour le service W.C, son intervention ne

peut se faire qu'après que le dernier passager soit descendu de l'appareil. Le coût d'un camion citerne est de 2.122 U.M.

#### 7- Avitaillement carburant

Cette opération consiste à effectuer le plein de carburant à chaque appareil. Cependant il faut signaler que la flotte de camions citernes ne fait pas partie du parc de matériel de servitude d'Air-Algérie, mais appartient à la société NAFTAL. Les camions opèrent en venant se placer sous les ailes de l'avion et attendent l'instruction du mécanicien pour la quantité de carburant à transvaser. Pour des raisons de sécurité, cette opération ne peut commencer qu'une fois tous les passagers débarqués. Les durées d'intervention varient avec le type d'appareil et sont résumées dans le tableau suivant:

	Mod1	Mod2	Mod3	Mod4	Mod5	Mod6
Temps d'intervention (mn)	12	15	18	30	35	20

#### 8- Hotellerie-armement/désarmement

Ce service s'occupe de la restauration et de la vente à bord. Pour ce faire, il dispose d'une infrastructure importante tant en moyens humains que matériels. A titre indicatif, tous les repas servis sur les lignes d'Air-Algérie sont préparés au sein

même du service quelle que soit la nature des plats proposés. Dès que le dernier passager est descendu de l'appareil, les camions "hotellerie" (ou camions catering) viennent se ranger du côté droit de l'appareil, l'un à l'avant et l'autre à l'arrière. Ils peuvent relever leur benne et procèdent à l'enlèvement des plateaux usagés pour les remplacer par des repas frais.

Théoriquement, deux (02) camions catering devraient opérer simultanément; cependant, un manque de coordination avec NAFTAL fait qu'un (01) seul camion peut opérer, en raison de la gêne occasionnée par le camion d'avitaillement.

Ces camions catering sont assistés par des véhicules de liaison qui, en cas d'ommission d'un certain produit, peuvent se déplacer rapidement pour aller le récupérer. En effet, les camions étant chargés pour armer deux (02) à trois (03) avions, il arrive parfois qu'il y ait un oubli quelconque.

Les durées de service varient avec la quantité à charger.

Le tableau suivant nous donne le détail de l'opération.

	Mod1	Mod2	Mod3	Mod4	Mod5	Mod6
Camions	1	2	2	2	2	1
Véhicule de liaison	1	1	1	1	1	1
Agent hotelier	1	1	1	1	1	1
Chauffeur	1	2	2	2	2	1
Manutentionnaire	3	6	6	6	6	3
Temps d'intervention (mn)	10	15	15	20	25	10

Coût d'un véhicule catering : 9 U.M.

### 9- Nettoyage cabine

Pour l'entretien intérieur des appareils, il existe un service de nettoyage qui, armé de matériel de ménage, prend possession de l'avion dès que le dernier passager est descendu. Le nettoyage de la cabine consiste à balayer les allées, vider les cendriers et les pochettes des sièges.

Les durées de l'opération diffèrent d'un avion à un autre et d'une destination à une autre, comme le montre le tableau-suivant:

	Mod1	Mod2	Mod3	Mod4	Mod5	Mod6
Camion nettoyage	1	1	1	1	1	1
Aspirateurs	2	2	2	3	3	2
Chef de cabine	1	1	1	1	1	1
Chauffeur	1	1	1	1	1	1
Manutentionnaire	4	5	6	12	12	6
Durée d'interv. (mn)	12	15	18	20	25	10

Les coûts des différents types de matériel sont:

Type de ressources	Prix unitaire CUM
Camion nettoyage	2.5725
Aspirateur	0.0321

### 10- Chargement soutes

L'opération de chargement des soutes est l'opération inverse de celle de déchargement. Les quantités de matériel ainsi que les durées de service ne varient pas.

### 11- Embarquement des passagers

L'opération d'embarquement des passagers se fait avec le même personnel que pour celle de débarquement. Toutefois, Les durées de ces deux opérations varient sensiblement. En effet, il est plus rapide de faire débarquer des passagers, même chargés, que de faire embarquer ces mêmes passagers peu ou pas chargés. Les durées sont alors :

	Mod1	Mod2	Mod3	Mod4	Mod5	Mod6
Durée d'intervention (mn)	10	18	19	30	35	5

### 12- Retrait matériel

Le retrait de matériel se fait de la même manière que sa mise en place, mais dans le sens opposé cette fois-ci. Les durées sont les mêmes que lors de l'opération de mise en place.

### 13- Mise en route

La mise en route est une opération qui demande la présence d'un mécanicien et d'un aide. Quelque soit le type d'avion, cette opération ne dure pas plus de deux (02) minutes. Pour des raisons de sécurité, la présence d'un extincteur est indispensable sur les lieux. Le coût d'un extincteur est de 0.004 million de DA.

Remarque:

Il existe encore d'autres types de matériel parfois utilisés lors des opérations de touchées. On peut citer:

Type de ressources	Prix unitaire (UMD)
Groupe à air	0.0643
Plateforme mécanicien	0.005
Escabeau mécanicien Mod2	0.01
Escabeau mécanicien Mod3	0.01

Le groupe à air est parfois utilisé lorsqu'une pression d'air importante est nécessaire. La plateforme mécanicien ainsi que les différents escabeaux sont nécessaires pour permettre au mécanicien d'effectuer ses différentes tâches.

I.5- Outils de résolution

Deux types d'outils de traitement seront présentés, implémentés et mis en oeuvre. Une première tentative de résolution utilisera les outils de la programmation mathématique. Dans une seconde phase, nous ferons appel à la simulation, et ce pour deux raisons majeures:

- D'abord parce que la simulation peut constituer un puissant outil de validation des modèles analytiques qui pourront être mis en oeuvre,

- Ensuite parce que la simulation, de par sa perception du système, sa modélisation des phénomènes étudiés, et de par son approche de traitement, offre souvent une vision à la fois plus générale et plus proche de la réalité.

# CHAPITRE II

## CHAPITRE II

### ETAT DE L'ART

## II- ETAT DE L'ART

### II.1- Etude réalisée par Air-Algérie

Vue l'importance du problème, la Direction des Transports d'Air-Algérie a initié une première étude à ce sujet, sous l'intitulé "Etude pour définir les quantités de matériel de servitude et d'équipement nécessaires au traitement des aéronefs en escales. Cependant, la portée et l'intérêt pratique de cette étude sont fort limités. En effet, elle permet seulement de définir les besoins en matériel de servitude dans un cas statique, et par conséquent imagine un scénario qui ne reflète pas la réalité du système. Elle se base sur l'hypothèse d'un nombre fixe d'arrivées (20 vols au total), réparties de manière tout aussi rigide entre les différents types d'aéronefs (4 gros porteurs, 7 B737, 7 B727, 1 L382, 1 F27) et évalue les quantités de matériels nécessaires par simple règle de trois. Or, quand bien même l'hypothèse d'un traitement de 20 avions simultanément (ce qui représente un taux d'occupation de 65% de la totalité des parkings, soit 31% postes de stationnement) serait vraisemblable, il n'en est pas moins vrai qu'elle occulte beaucoup d'aspects importants. En particulier, le caractère aléatoire des arrivées (retards, avances, vols annulés, vols non programmés) n'est pris en compte qu'à travers et au prix d'un sur-dimensionnement du parc de matériel de servitude. Ce sur-dimensionnement, outre le fait

qu'il constitue une immobilisation importante du capital, n'offre pas toutes les garanties quant à la prise en charge réelle et efficiente de tous les vols.

## II.2- Travaux réalisés à l'étranger

A l'étranger, la détermination du parc de matériel de servitude est scrupuleusement faite, et ce en quantifiant les besoins précis des opérations à effectuer, des infrastructures existantes et de celles envisagées à moyen et à long terme. Nous citerons l'exemple de la société qui gère l'aéroport de Rome (Italie). Celle-ci possède un logiciel qui détermine, en fonction du programme quotidien, la quantité de matériel nécessaire pour le traitement des appareils. Ce logiciel jalousement protégé des yeux des autres compagnies utilise principalement la programmation mathématique et la simulation.

L'obtention de publications traitant explicitement de ce problème précis fut impossible, en raison du caractère militaire que revêtent ces études. Toutefois, certains articles traitant de problèmes d'allocation de ressources générales, de la simulation d'un aéroport cargo ou encore des retards causés par l'encombrement des pistes se sont révélés intéressants dans le sens où ils permettent de juger la portée de ces méthodes, la programmation mathématique et la simulation.

## II.2.1- Principales applications

1- Un analyste militaire états-unien, Victor S. AUTERIO [ 1 ], traite de la simulation d'un parc de matériel pour un aéroport cargo militaire, donc un aéroport qui ne s'occupe pas de passagers, par la méthode QGERT (Queuing Graphical Evaluation Review Technique) initiée par A. PRITSKER. Les managers ont besoin de méthodes pour déterminer la capacité de leur aéroport, des goulets d'étranglements, de l'allocation et de la distribution optimale des potentiels humains et matériels. Plusieurs questions se posent alors:

- Est-il utile d'automatiser les processus de traitement?
- Où faut-il implanter les différents équipements ?
- Combien d'avions peuvent se poser simultanément?
- Combien de ressources supplémentaires doit-on acquérir pour augmenter les capacités de traitement?

Le modèle de simulation implémenté a été mis en oeuvre plus de deux cent (200) fois pour prétendre à des résultats significatifs; chacune de ces exécutions a nécessité quinze (15) à quarante (40) minutes.

2- Un australien, M.J. ATACK ( [ 1 ] ), expose un modèle de simulation des retards causés par l'engorgement des pistes de décollage des aéroports. Le modèle a été constitué en tenant compte de plusieurs types d'appareils, des conditions météorologiques, et des taux de mouvements différents (20 jours à

606 mouvements, 50 jours à 552 mouvements, etc). Ces choix indiquent la forme générale de la distribution des demandes.

D'autres paramètres importants sont également considérés. On peut citer la géométrie de l'aéroport, la disposition des pistes principales et secondaires, les points d'intersections des différentes pistes, les dispositions des équipements nécessaires au décollage et les positions des points de "début de roulage" pour chaque type d'appareil.

Les conditions météorologiques sont aussi envisagées, car elles permettent de diviser le problème en deux sous-problèmes principaux, la navigation à vue, et la navigation au radar; ces deux sous-problèmes sont à leur tour subdivisés en plusieurs sous-problèmes, pour faciliter leur traitement.

L'utilisation des pistes ne se fait pas de manière indépendante mais est sujette aux conditions climatiques. En effet, le vent, facteur important, détermine le choix de la piste. L'allocation des avions aux différentes pistes s'effectue selon un ordre de priorité tabli. Cependant, cet ordre d'affectation peut être modifié selon certains paramètres (caractères prioritaires de certains avions, conditions météorologiques, etc).

Les outputs de ce modèle sont de trois types; on peut distinguer les paramètres afférents au temps:

- \* Les retards par type d'appareil pour les atterrissages et les décollages.

- \* La moyenne des retards par type d'appareil pour les

atterrissages et les décollages.

On y distingue aussi les paramètres afférents à l'aspect numéraire:

\* Les coûts engendrés par l'encombrement par type d'appareil par catégorie de vol par décollage et par atterrissage.

\* Les coûts engendrés par les conditions météorologiques.

Un troisième paramètre peut être déterminé: Il s'agit de la distribution des retards par type d'avion, par départ et par arrivées.

Depuis trois ans, ce modèle est utilisé dans les différents aéroports australiens; aussi, certains programmes supplémentaires se sont greffés concernant le développement du trafic aérien et le contrôle de ce dernier.

3- ADLER et FRICKER [ ] se sont intéressés au problème d'encombrement des aérodromes (The Flow Scheduled Air Traffic) lorsque les avions qui doivent arriver à une heure déterminée arrivent à une autre heure. Ils analysent plusieurs méthodes tendant à réduire l'encombrement, de façon à atteindre les buts suivants:

- Assurer la sécurité.
- Utiliser le terrain d'atterrissage de manière plus efficace.
- Réduire les durées totales de voyage.

Pour ce faire, ils ont modélisé le système sous forme d'un problème de files d'attente. Ils ont alors défini un paramètre

"densité de trafic", E, donné par

$$E = \frac{\text{Intervalle moyen entre les arrivées prévues}}{\text{Intervalle minimum de sécurité à l'atterrissage}}$$

dont ils étudient l'impact sur le système.

Malheureusement, cette étude ne considère explicitement pas le matériel de servitude.

4- Dans un contexte différent, Raymond TREMOLIERES et Jean-Claude AUBERT [ ] présentent un modèle et une méthode pour la détermination d'une flotte minimale de camions pour le transport du béton. La durée des voyages est supposée non aléatoire. Des résultats provenant de l'application de cette méthode sur des problèmes concrets sont présentés. La méthode a été testée sur un grand nombre de situations concrètes et s'est révélée particulièrement intéressante par rapport au procédé habituellement utilisé par les "dispatcheurs" (opérateurs humains). Elle a permis, en effet, de démontrer qu'il était possible de réaliser une économie de 5 à 10% sur le parc habituellement utilisé et de l'ordre de 6 à 7% sur les coûts de livraison. D'un point de vue mathématique, la méthode repose sur deux algorithmes liés, l'un de type programmation dynamique "directe", l'autre de type "inverse". La principale contrainte à prendre en compte ici vient de ce qu'il n'est pas possible de charger simultanément deux (02) camions en

même temps sous une même centrale à béton, sorte de grand silo sous lequel les camions viennent se charger. D'autre part, un camion ne peut évidemment pas effectuer deux tâches en même temps. Le problème qui se pose est de déterminer un parc minimal permettant de satisfaire toutes les commandes avec un retard éventuel acceptable tout en tenant compte des temps de chargement.

Les questions posées sont :

- Peut-on effectuer les livraisons au temps voulu?
- Quels sont les retards éventuels?
- Quels sont les meilleurs départs effectifs de chargement?
- Quelles sont les tâches que doit effectuer chacun des camions en se basant

- \* sur la règle FIFO (first in, first out)

- \* sur la règle LIFO (last in, first out)

- Quels sont les battements des camions avant chaque tâche?

L'hypothèse principale est que les tâches sont toutes également prioritaires. Un algorithme détermine les  $t_i^*$ ,  $t_i^*$  étant les dates où il est possible de programmer la tâche  $i$  à un instant plus proche de  $t_i^-$  ( $t_i^-$  étant l'heure théorique de chargement au plus tard pour effectuer la livraison au temps voulu par le client) par valeurs inférieures. Un second algorithme détermine les dates effectives de chargement. La réalité étant plus complexe, il faut alors tenir compte de l'équilibrage des tâches et des affectations des camions entre les centrales.

## II.2.2- Formulations mathématiques de base

Le problème du dimensionnement du parc de matériel de servitude peut-être perçu comme un problème d'allocation de ressources à un ensemble d'activités, les ressources étant les différents matériels de servitude, et les activités, les opérations de touchée.

1- Dans la cas d'un type de ressource unique à répartir entre un ensemble de  $n$  activités, le problème, connu sous le nom "SIMPLE RESSOURCE ALLOCATION PROBLEM", peut être formulé comme suit:

$$P : \text{Min } Z(x) = \sum_{i=1}^n f_i(x_i)$$

s c :

$$x_i \leq N, \quad i=1, N$$

$x_i$  entier non négatif, et  $N$  entier.

où toutes les  $f_i$  sont des fonctions convexes dénotant le coût d'allocation de  $x_i$  unités de ressources à l'activité  $i$ .

Beaucoup de chercheurs s'y sont intéressés [ ], développant plusieurs algorithmes de résolution. L'un de ces algorithmes, connu sous le nom de "méthode incrémentable", commence avec

$x = (0, 0, 0, \dots, 0)$  (0 ressource allouée à l'activité  $i$ ,  $i=1, N$ ) et incrémente à chaque itération la variable  $x_j$  pour laquelle

$$f_j(x_{j+1}) - f_j(x_j) = \text{Min} [ f_i(x_{i+1}) - f_i(x_i) ] \quad 1 < i < n$$

jusqu'à saturation de la contrainte.

3- KATOH, IBARAKI et MINE [1] ont généralisé ce problème comme suit:

$$Q : \text{Min } Z(x) = \sum_{i=1}^n f_i \left( \sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \right)$$

SC :

$$x_{ij} \leq N_j, \quad i=1, N; \quad j=1, M$$

$x_{ij}$  entier non négatif

$$N_j \in \mathbb{N}.$$

Où  $x_{ij}$  est la quantité de ressources de type  $i$  allouées à l'activité  $j$ , et  $a_{ij}$  est un paramètre qui représente l'effet de la ressource  $i$  sur l'activité  $j$ .

Les auteurs ont ensuite montré que la méthode incrémentale ne pouvait être appliquée dans le cas où les coefficients  $a_{ij}$  ont des valeurs arbitraires différentes de l'unité. En fait, ce problème est NP-Difficile.

4- SHIH puis MJELDE ([1]), qui se sont intéressés au même problème, ont mis au point une méthode de résolution par séparation et évaluation (Branch and bound), dans le cas d'un seul type de ressource.

5- Le problème peut tout aussi bien être ramené à la recherche de la répartition de ressources entre un certain nombre d'activités, de manière à maximiser le rendement total, comme l'a

formulé MJELDE [ 1 ]:

$$P : \text{Max } Z = \sum_{k=1}^K r_k \left( \sum_{j=1}^J \alpha_{jk} x_{jk} \right)$$

S C :

$$X_{jk} \leq h_j, \quad j=1, J$$

$X_{jk}$  entier non négatif

où:

$K$  : nombre d'activités

$J$  : nombre de type de ressources

$h_j$  : quantité disponible de ressource  $j$

$\alpha_{jk}$  : effet de la ressource de type  $j$  sur l'activité  $k$

$r_k$  : fonction concave de rendement de l'activité  $k$  dû aux

quantités de ressources allouées.

L'auteur propose un algorithme de résolution par "Branch and Bound".

# CHAPITRE III

## CHAPITRE III

### 1ÈRE APPROCHE DE TRAITEMENT

#### APPROCHE BASEE SUR LA

#### PROGRAMMATION MATHEMATIQUE EN NOMBRES ENTIERS

### III.1- INTRODUCTION

Tel qu'il fut présenté dans le chapitre précédent, le problème de dimensionnement optimal du parc de matériel de servitude d'AH peut être perçu comme un problème de programmation mathématique. Il pourrait alors se présenter sous l'une des deux formes suivantes :

$$1- \text{ Min } \left\{ \text{Taille du parc de matériel de servitude} \right\}$$

sous les contraintes de service :

Durée d'une activité  $j$  sur un aéronef  $i$   $\leq$  Durée Max autorisée pour cette activité.

Les quantités de matériels sont des variables discrètes à valeurs strictement positives et pouvant être bornées (disponibilité de ressources).

Les durées des différentes opérations sont des variables continues à valeurs non négatives et bornées.

$$2- \text{ Min } \left\{ \text{Retard dans le traitement d'un aéronef quelconque} \right\}$$

En fait, ce problème peut aussi être considéré dans le cadre de la programmation stochastique, dans la mesure où beaucoup de variables sont de nature aléatoire (arrivée d'un aéronef à un instant donné, disponibilité d'une ressource donnée, durée d'une opération donnée, etc...).

L'objectif consistant à minimiser l'espérance mathématique de la variable aléatoire dénotant soit le retard maximum dans le traitement d'un avion quelconque, soit la somme des retards dans

les traitements des aéronefs utilisant les services de l'aéroport durant une journée donnée, pourrait être considéré. Des contraintes sur les limitations des ressources forceraient au compromis "temps moyen d'attente/budget consommé".

La première formulation a été retenue pour deux raisons majeures :

- la simplicité relative de sa mise en oeuvre, et
- la prise en compte de l'aléa dans la deuxième approche de résolution qui sera élaborée dans le cadre de cette étude.

### III.2- FORMULATION MATHEMATIQUE

#### III.2.1- Notations

Soient  $N$  le nombre de type d'aéronefs susceptibles d'atterrir sur l'aéroport Houari Boumedienne et  $X_i$  le nombre d'avions de type  $i$  sur la piste:

$$X_i \geq 0 \text{ et } X_i \in \mathbb{N}, \quad \forall i = 1, N$$

Soient encore :

$M$  : nombre d'opérations à effectuer lors d'une touchée.

$K$  : nombre de types de matériel de servitude.

Un avion de type  $i$  est sujet, pendant son traitement en transit, à une série d'opérations de type  $j$ , ( $j = 1, K$ ) dont la quantité de matériel de servitude nécessaire diffère d'un type d'avion à un autre. Cette quantité de matériel doit être déterminée en fonction du programme journalier.

$Y_{ijk}$  la quantité de matériel de servitude de type  $k$  ( $k=1,K$ ), nécessaire au traitement de l'opération  $j$  ( $j=1,M$ ) sur l'appareil  $i$  ( $i=1,N$ ).

Donc le matériel  $Y_{ijk}$  varie selon le type de l'opération et celui de l'appareil.

On peut déterminer le coût  $Z_i$  du matériel de servitude nécessaire pour la prise en charge d'un avion de type  $i$ .

$$Z_i = \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^K C_{ijk} Y_{ijk}$$

$C_{ijk}$  étant le coût unitaire associé au matériel de type  $k$  pour l'opération  $j$  sur l'appareil de type  $i$ .

Le coût total du parc de matériel de servitude sur la piste est alors:

$$Z = \sum_{i=1}^N Z_i = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^K C_{ijk} Y_{ijk} X_i$$

### III.2.2- Fonction objective

En considérant, l'aspect économique des activités, la fonction objective que nous retiendrons s'énonce alors:

$$\text{Min } [ Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^K C_{ijk} Y_{ijk} X_i ]$$

$$= \sum_{i=1}^N X_i \left( \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^K C_{ijk} Y_{ijk} \right)$$

La politique commerciale de la compagnie oeuvre dans le but de faire décoller tous ses avions à l'horaire prévu et ce avec un maximum de sécurité. Il faut évidemment, pour respecter les impératifs de ponctualité et de sécurité, minimiser les coûts en fonction du matériel nécessaire, et non dimensionner le matériel en fonction du budget alloué.

Dans le second cas, la solution peut être tout à fait aberrante, dans le sens où l'on peut aboutir à des conclusions du type suivant: pour un budget de  $x$  millions de dinars algériens (DA) le parc optimal sera constitué de

$z = x / y$ , où  $y$  est le coût unitaire d'une échelle, par exemple le reste du matériel étant alors négligé.

### III.2.3- Contraintes

Dans ce problème, deux types de contraintes existent. En effet, il y a d'une part les contraintes d'ordre physique et celles d'ordre temporel.

$\alpha$ - Les contraintes physiques.

Elles renseignent sur les quantités de matériel de servitude nécessaires pour chaque type d'aéronef. Il existe cependant des types de matériel qui sont semblables pour des types d'aéronefs différents, et qui sont par conséquent interchangeables. A titre d'exemple, les échelles auto-tractées sont aussi bien valables pour un Boeing B727, qu'un Boeing B767 ou un Boeing B747.

Le système obéit ainsi à la contrainte suivante:

$$Y_{ijk} \geq A_i \sum_{i=1}^b X_i$$

$$i=1, N \quad j=1, M \quad k=1, K$$

où  $A_i$  est le nombre minimum de matériel de  $Y_{ijk}$  pour le traitement d'un appareil de type  $i$ .

$b$  est le nombre d'avions sur la piste nécessitant la même quantité de matériel  $Y_{ijk}$ .

A cela s'ajoutent les contraintes de non-négativité:

$$Y_{ijk} \geq 0, \quad i=1, N, \quad j=1, M, \quad k=1, K$$

$$X_i \geq 0, \quad i=1, N$$

$\beta$ - Les contraintes temporelles.

Ce second type de contraintes est relatif aux durées d'exécution des différentes tâches.

Dans le souci de respecter les horaires prévus par la Direction Commerciale, les différents exécutants se doivent de procéder pendant le temps qui leur est imparti. Cependant, certaines de ces opérations peuvent avoir lieu en même temps, sans pour autant avoir la même durée. Il apparaît clairement qu'il existe une durée limite d'exécution de chaque tâche. La somme algébrique des durées des tâches figurant sur le chemin critique doit être inférieure à la durée maximale imposée par les normes.

Solent donc  $T_{ij}$  les durées des opérations figurant sur le chemin critique, et  $T'_{ij}$  les durées des opérations ne figurant pas sur le chemin critique.

$T_{ij}$  est la durée de l'opération  $j$  ( $j=1, M$ ) avec le matériel de type

k (k=1) sur l'appareil de type i (i=1,N).

On obtient alors les contraintes suivantes:

$$T_{ij} \leq T_{ij \max}$$

$$\dot{T}_{ij} \leq \dot{T}_{ij \max}$$

et

$$\sum_{i=1}^c T_{ij} \leq T_{\max}$$

c étant le nombre d'opérations sur le chemin critique.

$T_{\max}$  est le maximum imparti pour l'ensemble de la touchée transit.

Le problème mathématique se présente donc sous la forme suivante:

$$\text{Min } [ Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^K Y_{ijk} C_{ijk} X_i ]$$

$$Y_{ijk} \geq A_i \sum_{i=1}^b X_i$$

$$T_{ij} \leq T_{ij \max}$$

$$\dot{T}_{ij} \leq \dot{T}_{ij \max}$$

$$\sum_{i=1}^c T_{ij} \leq T_{\max}$$

$$Y_{ijk} \geq 0, \quad i=1,N$$

$$j=1,M$$

$$k=1,K$$

$$X_i \geq 0, \quad i=1,N$$

Le problème mathématique est un problème non-linéaire. En effet, on peut remarquer le produit des variables  $X_i$ ,  $i=1, N$ , et des variables  $Y_{ijk}$ ,  $i=1, N$ ,  $j=1, M$ ,  $k=1, K$ .

Lorsque l'on veut estimer la taille du problème, il faut dans un premier temps évaluer le nombre des variables. Le nombre de contraintes est supérieur aux nombres de variables de par le fait qu'il existe des contraintes concernant les différentes quantités de matériel, des contraintes relatives aux temps d'exécution des opérations et des contraintes de non-négativité.

Ce programme devait être résolu en utilisant le logiciel de programmation mathématique LINDO, disponible au département en version "étudiant". Cependant, l'utilisation pratique de LINDO s'est avérée impossible. En effet, le nombre d'équations enregistrées est supérieur à la capacité d'acceptation du logiciel (Annexe 1) ceci s'explique par le fait que la fonction objective  $Z$  est sous forme quadratique. L'utilisation du LINDO préconise le mode opératoire suivant; il faut dériver la fonction objective par rapport à chaque variable, et rajouter à ces dérivées une ou des variables fictives, relatives à chaque contrainte où apparaît la variable, et ce affectées d'un signe + ou -, selon le sens de l'inéquation.

Il est donc impossible de déterminer la solution optimale par cette méthode. Il est concevable, cependant, de diviser le problème en plusieurs sous-problèmes, et de déterminer par la suite les optimums relatifs à chaque sous-problème. Les critères de découpage sont nombreux; on pourrait procéder par type de matériel, par ordre de prix, etc.

C'est ce dernier critère qui a été retenu. Il s'agit dans notre cas d'un problème de minimisation budgétaire, donc de coûts. Les différents types de matériel seront classés par ordre de prix d'acquisition décroissants, et priorité sera donnée aux plus onéreux. La somme résultante de la résolution de chaque sous-problème nous permettra d'avoir un aperçu sur l'investissement à effectuer, en vue de l'acquisition d'un parc optimal. Il n'est pas évident que la somme des différents optimaux locaux aboutisse à l'optimum du problème résolu entièrement. De plus, le découpage s'est avéré impossible. Il aurait fallu, pour que la capacité du LINDO ne soit pas dépassée une somme considérable de sous-problèmes, car il faut ajouter à ces sous-problèmes les contraintes de temps associées. LINDO sera donc abandonné. Le dimensionnement du parc ne sera déterminé que par la simulation, objet de notre seconde partie.

# CHAPITRE IV

## CHAPITRE IV

### 2ÈME APPROCHE DE TRAITEMENT

#### APPROCHE BASEE SUR LA

#### SIMULATION

## IV- APPROCHE DE RESOLUTION BASEE SUR LA SIMULATION

### IV.1- Généralités

#### IV.1.1- Approche de la simulation

Devant faire face à la taille et à la complexité croissante des problèmes rencontrés, les chercheurs, partis d'une idée simple ("what-if?" c'est-à-dire "que se passerait-il si...?") ont introduit et développé un nouvel outil appelé simulation.

Cet outil, une fois maîtrisé, permet l'exploration de divers problèmes, et les multiples scénarii d'un même problème. En effet, son utilisation est possible dans le cadre de:

- L'analyse de phénomènes divers afin de mieux les définir, de même que leur évolution.
- L'évaluation et la comparaison de différentes solutions proposées, et ce pour en déterminer les phases successives de l'évolution.
- La prévision et la planification à court, moyen et long terme.

Il est à préciser que la simulation n'est pas un outil d'optimisation dans le sens généralement admis.

#### IV.1.2- Intérêt de la simulation

L'intérêt de la simulation n'est plus à démontrer, face au large éventail d'aide proposé. En effet elle offre une faculté de visualisation des conséquences de toute prise de décision pour un

problème. Cependant, ce fabuleux outil requiert beaucoup de temps et d'investissement, dans la phase d'étude. En effet, une bonne connaissance de ses mécanismes ne s'acquiert qu'au prix d'une étude profonde pour en posséder les rudiments de base. La phase de compréhension du système et de sa modélisation est souvent une opération fort complexe. Il existe différents modes de simulation, de la simulation physique sur une maquette (modèle réduit du système étudié), à la simulation par modèle de comportement, sur ordinateur électronique. Cette dernière nécessite souvent le recours à un langage de simulation dont il faudra apprendre le "maniement". La logique du langage ne se maîtrise qu'avec la pratique du logiciel et la diversité des problèmes rencontrés. Il ne suffit pas d'aligner des instructions les unes après les autres, mais il faut respecter une structure logique propre au logiciel:

La nature du problème étudié est d'une importance non négligeable. Ici aussi, le problème doit non seulement être défini en détail, mais encore replacé dans son contexte.

La conjonction de ces deux modes d'action permet une bonne connaissance du problème et surtout indique approximativement la nature de la solution. Ceci donne une idée sur l'investissement en temps et en argent qu'il faudra consentir pour l'utilisation de la simulation.

#### IV.1.3- Domaines d'application

Cet outil peut être appliqué à une vaste gamme de domaines, parmi lesquels:

- Transport:

- \* Organisation d'une flotte (taxis, bus, navettes, etc)
- \* Détermination des circuits de distribution.
- \* Localisation de dépôts.

- Investissement, évaluation de projets:

- \* Elaboration de politiques d'extension d'infrastructure
- \* Evaluation de projets d'investissement et d'engineering.

- Planification, prévision:

- \* Planification des ressources humaines.
- \* Analyse prospective des projets d'investissements au niveau macro et micro-économique.

- Finances:

- \* Analyse financière et budgétaire.
- \* Elaboration de budgets et mise au point d'un plan de financement adéquat.

#### IV.2- Concepts fondamentaux

La simulation repose sur deux concepts fondamentaux qui sont "le système" et "le modèle".

##### IV.2.1- Le système

Il peut être défini comme étant un ensemble d'éléments liés par un certain nombre de relations et réunis pour remplir une fonction précise. Tout système évolue dans un environnement donné, qui constitue son milieu extérieur. Les perturbations de ce

dernier entraînent le changement de valeur de certains attributs d'un ou plusieurs éléments, les attributs étant les caractéristiques ou spécifications de chaque élément. Ces changements entraînent donc des variations de valeurs de certaines variables. Ceux-ci génèrent alors un changement d'état du système dont la manifestation n'est autre que l'évolution du système proprement dit. Il y a donc là la constitution d'un portrait statique du système par sa description à chaque instant, et d'un portrait dynamique car il y a une description des variations d'état au cours du temps. A la notion de système, il faut associer celle de modèle.

#### IV.2.2- Le modèle

Le modèle est la représentation du système, où sont mis en relief les caractères essentiels, acteurs principaux de toute évolution. Il est essentiel d'effectuer une étude précise et détaillée du système considéré, permettant ainsi la conception d'un modèle réaliste, fidèle transcription de la réalité, ce dernier servant de base, de support à toute simulation.

Les modèles sont de trois types. On distingue:

- Les modèles iconiques où les modèles sont des répliques miniaturisées du système, maquettes (barrages construits à l'échelle).
- Les modèles abstraits où les équations mathématiques font office de support (équations d'écoulement d'un fluide).
- Les modèles visuels où les diagrammes sont essentiellement utilisés (réseaux de transport).

#### IV.3- La modélisation

L'interprétation difficile de certains facteurs, l'aléa, la subjectivité de l'interprétation par l'élément humain ne font qu'accroître la difficulté de la modélisation. A cela vient se greffer la détermination des facteurs extérieurs affectant le système en identifiant ses fonctions de la manière la plus appropriée (identification des inputs et des outputs). Un bon choix du niveau de détail à inclure dans le modèle est important. Il est nécessaire de ne pas sombrer dans une opération détaillée telle que le modèle ne serait plus significatif. Pour effectuer une modélisation correcte, il y a donc certaines précautions à prendre.

#### IV.4- Différents types de simulation

On distingue trois types de simulation

- La simulation statique / dynamique.
- La simulation déterministe / stochastique.
- La simulation discrète / continue.

##### IV.4.1- Simulation discrète et simulation continue

\* Discrète : Dans ce cas, le temps est la variable indépendante et les autres variables en sont dépendantes. Les instants où varient les valeurs des variables d'états sont les instants d'occurrence des événements.

\* Continue : Ici, les variables d'état changent de valeur instantanément au cours de la simulation.

## ERRATUM

\* Une malencontreuse erreur de typographie est à l'origine d'un saut de page à la page 55.

\* A la page 69, il faut lire "Le premier "1" est le nombre utilisé de véhicule de traction" et non "tracmas" qui est la marque du constructeur de ce véhicule de traction.

\* A la page 71, il faut lire "Passerelle Mod1 (1)" et non "Passerelle Fokker F27 (1)".

\* A la page 72, il faut lire le tableau suivant:

TYPE	ATTRIBUT
Mod1	1
Mod2	2
Mod3	3
Mod4	4
Mod5	5
Mod6	6

\* Combinée : C'est le cas d'un système comprenant des variables d'état qui changent de façon discrète durant le temps de simulation et d'autres qui évoluent instantanément.

#### IV.4.2- Différents points de la simulation discrète

\* Evénement-Activité-Processus.

$\alpha$ - Activité: C'est l'intervalle de temps où l'état d'un objet du système ne change pas.

$\beta$ - Evénement: Il est caractérisé par le changement d'état d'une entité.

$\gamma$ - Processus: Formé de la succession des activités dans lesquelles s'engage chaque type d'entité.

\* Différentes optiques de la simulation

$\alpha$ - Par événements: L'avance du temps se fait par saut d'un événement à la date de l'évènement suivant, car les instants où les événements se produisent sont connus et il n'y a aucun changement d'état en dehors de ces événements.

$\beta$ - Par scrutation d'activité: On analyse le système non plus pour répertorier les événements qui provoquent le changement d'état mais les intervalles de temps où le système est stable.

$\gamma$ - Par processus: Elle consiste à modéliser les processus, puis à établir les liens entre ces divers processus. L'ensemble ainsi synchronisé décrira la logique globale de changement d'état du système.

## IV.5- Langages de simulation

### IV.5.1- Langages pour simulation en discret

- "General Purpose Simulation System", GPSS. Ce langage est utilisé pour la simulation en discret et adopte une simulation par processus.

- Graphical Evaluation and Review Technique. Il est basé sur une simulation par processus.

### IV.5.2- Langages de simulation en continu

Ce sont des langages similaires et ne diffèrent entre eux que par le type de sorties qu'ils produisent. Ex: CSSC, DYNAMO.

### IV.5.3- Langages multiples

\* GASP IV : Il considère une approche par événements pour des systèmes continus et des systèmes combinés.

\* SIMSCRIPT II : Ce langage allie aux possibilités qu'offre le GASP IV, les capacités suivantes:

$\alpha$ - Initiation à la programmation.

$\beta$ - Equivalence au FORTRAN.

$\gamma$ - Equivalence à l'ALGOL.

$\delta$ - Aide à la modélisation.

## IV.6- SLAM II

### IV.6.1- Présentation générale du langage

Une description détaillée et complète de ce langage se trouve dans l'ouvrage intitulé "Introduction To Simulation And SLAM II" écrit par Alan B. PRITSKER, en 1984.

### IV.6.2- Possibilités offertes par SLAM II

Ce langage permet aussi bien une simulation des systèmes discrets que des systèmes continus, de même que des systèmes combinant l'un et l'autre. De plus, la simulation par processus, par événement, voire la combinaison des deux est possible.

### IV.6.3- Modélisation des systèmes discrets

$\alpha$ - Par processus : Un système discret sera modélisé par un réseau appelé réseau SLAM. Les éléments dynamiques du système sont représentés par des entités circulant à travers le réseau. Ces entités sont caractérisées par un vecteur qui conserve tous les attributs de l'entité. Au cours du cheminement des entités à travers le réseau, les valeurs de certains attributs sont affectées, et cela suivant les instructions exécutées par le programme.

$\beta$ - Par événement : SLAM met à la disposition de l'utilisateur un certain nombre de sous-programmes standards pour la programmation des événements en attente au niveau des queues, la

collecte des statistiques, l'allocation des ressources ou encore la génération des échantillons artificiels des lois de distribution usuelles.

#### IV.6.4- La modélisation combinée

Il est possible d'améliorer la rigidité imposée en faisant appel à des sous-programmes FORTRAN qui seront insérés dans le réseau pour affiner la modélisation. Des événements particuliers peuvent être ainsi créés, des ressources allouées suivant des règles complexes pour tendre à refléter au mieux la réalité du système.

#### IV.6.5- Simulation en continu

Ce type de simulation est réalisé en SLAM sous forme d'équations différentielles qui décrivent le comportement dynamique des variables d'état. Les équations sont transcrites en langage FORTRAN en employant certains concepts propres à SLAM.

#### IV.6.6- Structure du programme SLAM

$\alpha$ - Programme principal : Il a pour but l'organisation de l'espace mémoire disponible et la répartition de cet espace entre les différentes composantes du modèle. (on peut citer les files, les instructions, etc).

$\beta$ - Programmes périphériques : Ils comprennent

\* Réseau SLAM.

\* Ensemble de sous-programmes FORTRAN.

\* Combinaison des deux.

#### IV.7- Méthodologie de la programmation

##### IV.7.1- Formulation du programme

$\alpha$ - Définition du problème.

$\beta$ - Identification du problème.

On aboutit ainsi à la définition des fonctions, des éléments et attributs, composants de l'input et de l'output.

##### IV.7.2- Construction du modèle

$\alpha$ - La première possibilité est de démarrer d'un modèle simplifié et grossier pour ensuite l'améliorer et le perfectionner.

$\beta$ - Une seconde possibilité consiste en la division du système en plusieurs sous-systèmes, en la modélisation de chacun de ces derniers, puis en leur recombinaison.

##### IV.7.3- Identification et collecte des données

Il s'agit de déterminer la nature et le type de données nécessaires. Une fois les données recueillies, il est parfois utile de les ajuster à des lois de probabilités usuelles.

#### IV.7.4- Transcription du modèle

La transcription du modèle se fait sous forme exploitable.  
Les langages utilisés sont :

α - Le Pascal et le Fortran.

β- SLAM.

#### IV.7.5- Vérification du modèle

Cette étape détermine la fidélité du modèle. Il s'agit de contrôler si la logique du langage a été respectée, et en vérifiant que sa transcription sur ordinateur correspond bien à ce qui a été prévu, et à la réalité des phénomènes étudiés.

#### IV.7.6- Validation du modèle

Elle consiste à s'assurer de l'efficacité du modèle et des résultats qui découleront de la simulation de ce modèle.

#### IV.7.7- Planning stratégique et technique de réduction de la variance

Cette étape consiste en l'utilisation de techniques statistiques qui permettront l'analyse, l'interprétation et l'utilisation des résultats.

$\alpha$ - Plan stratégique:

Ce plan est basé sur la combinaison optimale des valeurs des variables dites variables de contrôle de la simulation.

$\beta$ - Plan tactique:

Ce plan consiste en la détermination des conditions initiales de la simulation et en l'utilisation de la technique de réduction de la variance.

#### IV.7.8- Exécution de la simulation

Il faut effectuer plusieurs exécutions et recueillir les résultats obtenus.

#### IV.7.9- Analyse des outputs- Interprétation des résultats

Cette étape consiste en la mesure de l'impact des différentes solutions envisagées.

#### IV.7.10- Finalisation de l'étude

Une fois la fiabilité des résultats prouvée, l'interprétation des résultats a lieu, des recommandations sont faites, et l'évaluation des perspectives d'exploitation du modèle pour d'autres préoccupations pourra alors avoir lieu.

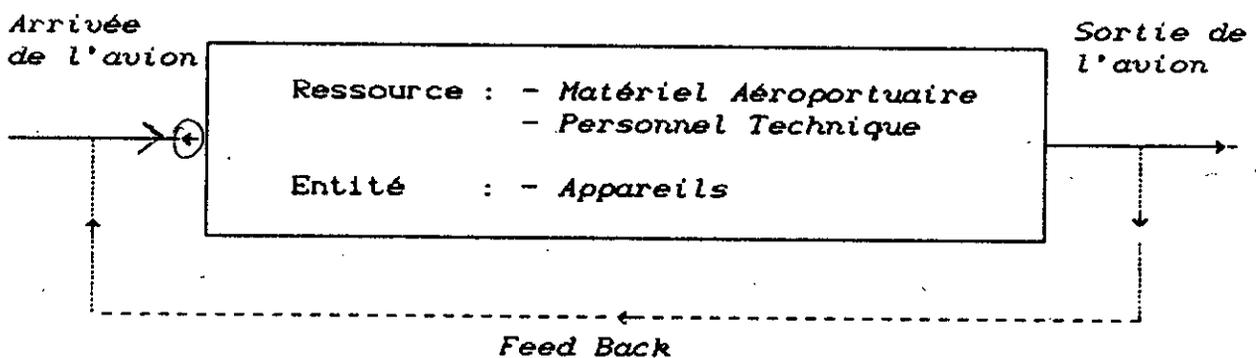
## IV.8- Modélisation et mise en oeuvre du modèle par SLAM II

### IV.8.1- Modélisation

#### 1- Considérations de base

##### 1-1- Le système aéroport

Dans le cas de l'aéroport Houari Boumediene, les composantes principales du système sont représentées par l'ensemble des ressources humaines et matérielles. Le système est régi par une évolution dynamique obéissant à une logique de changement d'état. Le schéma suivant représente ces variations d'état.



#### Composantes du Système

##### 1-2- Entité, événement, activité, processus

Les appareils sont considérés comme étant les entités entrantes et sortantes du système. Un certain nombre de caractéristiques (attributs) va permettre de différencier les appareils les uns des autres. Un événement est considéré comme étant l'arrivée ou le départ d'une entité, le début ou la fin du

traitement d'un appareil, ou encore tout ce qui peut modifier l'état du système (affectation ou libération des ressources, etc). Une activité sépare deux événements successifs. Une séquence d'événements ou d'activités constitue le cheminement de l'avion dès son entrée dans le système (atterrissage) à sa sortie (décollage) et constituera un processus. La conjugaison de ces processus représente la logique de changement d'état du système aéroport.

### 1-3- Logique de changement d'état du système

L'entité, ou l'appareil, est la principale source de variation du système. En effet, si l'appareil arrive aux heures prévues, le système a des changements d'état à des instants discrets et déterministes. Il arrive cependant, comme il le sera montré par la suite, que des avions arrivent soit en retard, soit en avance. Ces irrégularités sont régies par des lois de probabilités qui donnent un caractère aléatoire au système. Les changements d'état se font donc à des instants discrets et aléatoires, entraînant une évolution du système par "saut". Le type de simulation à adopter est une simulation stochastique discrète.

### 2- Outils de modélisation

Pour plus de précisions, l'ouvrage de référence est "Introduction to Simulation and SLAM II" de A. PRITSKER .

### 3- Conception du modèle "Aéroport"

#### 3-1- Le modèle de base

Les opérations qui doivent être effectuées sur chaque avion sont sensiblement semblables, quelque soit le type de l'appareil. L'ensemble des activités pour un type d'aéronef est caractérisé par un réseau PERT. L'ensemble de toutes les activités nécessaires aux traitements des avions peut être représenté par six (06) réseaux PERT. La transcription de ces réseaux en réseaux SLAM a été effectuée de la manière suivante:

Le point origine est commun aux six réseaux. C'est alors que se fait un et un seul branchement vers le réseau de traitement pour l'aéronef considéré. La valeur de l'attribut permet de déterminer le réseau approprié. L'instruction SLAM utilisée pour cela est :

```
ACT,...ATTRIB(2).EQ.4.B767;
```

On peut traduire cette instruction par :

"Si la valeur de ATTRIB(2) est égale à quatre (04), alors il s'agit d'un Boeing B767". Le branchement s'effectue aussitôt à l'étiquette B767 du programme de simulation et le traitement commence.

A la rencontre d'une ramification avec X branches, on peut lire

```
GOON,X;
```

Les X activités commencent en même temps mais ne finissent pas toujours à la même date. Donc ce noeud permet de relier plusieurs activités entre elles. L'entité "quitte" le noeud en empruntant M branches parmi celles qui en émanent.

L'accomplissement d'une tâche nécessite un matériel bien spécifique. Pour le déchargement des bagages, par exemple, il est nécessaire de posséder X véhicules de traction (V.Tract), quelque soit le type de l'avion. L'instruction SLAM est :

```
AWAITC(IFL/QC),V TRACT/X,M
```

L'entité arrivant à cette instruction attend au niveau de la file n°IFL de capacité QL, X véhicule de traction. M est le nombre de branchement à la suite de l'instruction AWAIT.

Juste après l'instruction AWAIT, vient se greffer l'instruction ASSIGN. Dans notre cas, on détermine la quantité de matériel disponible après l'exécution de l'instruction AWAIT. On a donc:

```
ASSIGN,XX(1)=XX(1)-1;
```

où XX(1) indique la quantité de véhicules de traction disponibles. Une fois les différents types de matériel alloués, le traitement peut commencer, et ce par l'instruction ACT. On a alors :

```
ACTC(N)/A,DUR;
```

L'activité porte le numéro A qui peut être constant ou variable, avec un nombre de serveurs en parallèle et a pour durée DUR.

Lorsque l'activité est terminée, on libère le matériel alloué précédemment, par l'instruction SLAM suivante:

```
FREE,V TRACT/1,1;
```

Le premier "1" est le nombre utilisé de trcamas; le second indique le nombre de branchements suivant cette instruction. Une nouvelle instruction ASSIGN est nécessaire. Elle remet à jour l'état des stocks après la libération du véhicule de traction. On a donc:

```
ASSIGN,XX(1)=XX(1)+1,1;
```

Le type des ressources est défini lors des premières instructions du programme SLAM. Le bloc de ressources sert à les identifier par l'instruction RLBL et IRC unités sont disponibles.

```
RES/RLBLCIRC),1;
```

Dans notre cas, on a :

```
RES/V TRACT(10),1;
```

La ressource Véhicule de traction, identifiée sous le label 1, est alors disponible en 10 unités.

L'initialisation des différentes variables se fait dans un sous-programme (subroutine) du programme principal FORTRAN.

Une première subroutine effectue donc les différentes initialisations nécessaires. Il est impératif d'attribuer des valeurs initiales à chaque ressource et ce pour en déterminer par la suite les quantités exactes utilisées.

Un fichier est alors ouvert, fichier contenant le programme quotidien des arrivées. Les informations contenues sont de deux types; il y a le type de l'appareil et l'heure d'arrivée prévue. Une simple opération permet la transformation des heures en minutes, en considérant une origine temporelle fixe (minuit, par exemple).

Par ailleurs, les avions arrivent soit en retard, soit à l'heure, soit en avance (l'annulation d'un vol n'est pas considérée, puisqu'elle n'introduit pas de perturbations au sens défini dans cette étude: elle conduit tout au plus à la vacation du matériel de servitude prévu). Pour chaque type de phénomènes, il existe des paramètres distincts pour chaque type d'avion qui seront développés ultérieurement. Il est donc possible de voir atterrir

un avion de type A, prévu à l'heure H+30, à l'heure H, avant un appareil de type B prévu à H+15. Une autre subroutine va alors générer des retards et des avances, selon les lois de probabilités des différents paramètres.

Une troisième subroutine effectue le tri des arrivées par ordre croissant, à partir des nouveaux temps générés par la seconde subroutine. On obtient ainsi un nouveau programme d'arrivées.

Le programme de simulation, écrit en FORTRAN, fait appel à SLAM comme à un vulgaire sous-programme (subroutine) : L'instruction CALL SLAM appelle SLAM et déclenche la simulation. Celle-ci ne devient effective que lorsque la programmation d'une arrivée se fait; cette programmation a lieu par le biais de la fonction USERF. Elle programme une arrivée, précisant le type de l'appareil ainsi que son heure d'arrivée effective.

Cette même fonction génère aussi l'arrivée suivante, et ainsi de suite jusqu'à la fin des arrivées existantes dans le fichier.

Le modèle initial a été conçu pour le traitement exclusif d'un seul type d'avion, à savoir le Fokker F27. En effet, il a été préférable, afin de mieux maîtriser le SLAM, de commencer par un modèle relativement simple. Ainsi la logique et les rouages seront plus simples à assimiler lors de l'exécution.

Le modèle est donc constitué des ressources suivantes:

- Véhicule de traction (1).
- Passerelle Fokker F27 (1).
- Chariot (2).
- Camion nettoyage (1).
- Camion hotellerie (1).
- Aspirateur (2).

- Camion WC (1).
- Camion alimentation en eau potable (1).
- Véhicule de liaison (2).
- Bus moyenne capacité (1).
- Groupe électrique (1).
- Cales (2).

(Les chiffres donnés entre parenthèses représentent les quantités nécessaires).

L'exécution de ce modèle a permis de déterminer les quantités de matériel nécessaires au traitement d'une flotte de Fokker F27 pour un programme quotidien d'arrivées constitué exclusivement de ce type d'appareil.

### 3-2- Le second modèle.

Après le succès rencontré lors de l'exécution du premier modèle, le second s'est vu étoffé de la manière suivante: Tous les avions susceptibles d'atterrir à Alger ont été définis. Nous avons alors les six (06) types d'aéronefs suivants :

TYPE	ATTRIBUT
- Fokker F27	1
- Boeing B737	2
- Boeing B727	3
- Boeing B767	4
- Boeing B747	5
- Hercule L382	6

**Types d'aéronefs considérés**

De même, les ressources nécessaires ont été définies:

- Véhicule de traction.
- Passerelle tractée.
- Passerelle auto-tractée.
- Passerelle Fokker F27.
- Tapis élévateur.
- Chariot.
- Chariot porte-container.
- Chariot porte-palette.
- Plateforme élévatrice.
- Rack fixe de stockage.
- Palette.
- Container.
- Camion nettoyage.
- Camion hotellerie.
- Aspirateur.
- Camion WC.
- Camion d'alimentation en eau potable (H2O).
- Véhicule de liaison.
- Bus petite capacité.
- Bus moyenne capacité.
- Bus grande capacité.
- Groupe électrique.
- Extincteur.
- Escabeau mécanicien Mod3.
- Escabeau mécanicien Mod2.
- Cales.

La somme de toutes ces instructions a permis de concevoir un modèle qui semble assez précis dans les quantités déterminées. Cependant, le niveau de détail a pu être augmenté, ce qui constitue le troisième modèle.

### 3-3- Le troisième modèle

Il est possible de faire d'autres distinctions quant aux types des appareils. La première distinction concerne les avions "cargo". Il en existe deux types, le L382 et le B737. Ces deux types d'appareils ne sont pas exactement similaires, il en résulte que les quantités de matériel ainsi que les durées de service varient lors des opérations de "touchée" de transit. On peut donc augmenter la catégorie des avions "cargo" en faisant la distinction entre les deux appareils et en ajoutant un attribut supplémentaire. L'ajout de cet attribut va permettre d'accroître le degré de précision du modèle. Une seconde distinction peut être faite et concerne les appareils ne se posant à Alger que pour des escales techniques. A cet effet, on peut citer la compagnie soviétique AEROFLOT qui fait escale à Alger au cours du vol Moscou (URSS) - Buenos-Aires (Argentine) - Moscou. Lors de l'escale, seuls les passagers débarquent, les bagages restant dans les soutes. Aucune opération n'est faite, exceptionnellement, certains appoints sont effectués (carburant, eaux usées, eau potable). On peut donc ajouter un ou plusieurs attributs selon le nombre d'appareils effectuant ce genre d'escale.

Ce troisième modèle sera donc constitué de vingt-six (26) ressources et au moins de dix (10) attributs, chacun se rapportant à un type d'avion; il est donc possible de voir deux appareils de même type sans pour autant qu'ils aient le même attribut. Ceci est dû au fait qu'ils ont des types de "touchée" différents.

Malheureusement, La combinaison de l'ensemble de ces ressources et des instructions nécessaires à la logique du langage a posé un

problème lors de la transcription informatique. En effet, le programme SLAM approchait les quelques mille (1000) lignes ou instructions. La version disponible au sein du Département est une version pour micro-ordinateur, sa capacité est limitée. Il aurait fallu une version plus puissante, malheureusement indisponible. Il a donc fallu procéder à quelques modifications.

#### 3-4- Le modèle final

Certains types de matériel ont été regroupés par type d'opérations. Par exemple, tout le matériel nécessaire pour décharger les soutes d'un Fokker F27 (1 véhicule de traction et 2 chariots) se retrouve rassemblé sous l'appellation "Opération soutes F27".

Parmi les aéronefs susceptibles d'atterrir à Alger, il arrive qu'un BOEING B747 atterrisse quelque fois par semaine. Il a donc fait l'objet d'une exclusion du modèle final, puisque l'on connaît avec précision le type de matériel qui lui est nécessaire.

Le tableau suivant donne les relations entre les nouvelles et les anciennes ressources.

## NOUVELLES RESSOURCES

- Véhicule de traction
- Matériel F27
  
- Opération soute F27
- Service hotellerie F27
- Service nettoyage
- Matériel B737
  
- Opération soute B737&B727
- Service hotellerie Boeing
- Matériel B727
  
- Opération soutes B767
  
- Camion WC
- Camion eau potable
- Véhicule de liaison
- Bus petite capacité
- Bus moyenne capacité
- Bus grande capacité
- Escabeau mécanicien B737
- Escabeau mécanicien B727

## ANCIENNES RESSOURCES

- Véhicule de traction (1)
- Groupe électrique (1)
- Passerelle passagers F27 (1)
- Cales (2)
- Véhicule de traction (1)
- Chariot (2)
- Camion hotellerie (1)
- Véhicule de liaison (1)
- Camion nettoyage (1)
- Aspirateurs (2/3)
- Véhicule de traction (1)
- Groupe électrique (1)
- Passerelle tractée (1)
- Cales (2)
- Véhicule de traction (2)
- Tapis élévateur (1)
- Chariot (12)
- Camion hotellerie (2)
- Véhicule de liaison (1)
- Groupe électrique (1)
- Passerelle auto-tractée (1)
- Cales (2)
- Véhicule de traction (2)
- Chariot (4)
- Tapis élévateur (1)
- Plateforme élévatrice (2)
- Chariot porte container (16)
- Chariot porte palette (6)
- Container (8)
- Rack fixe de stockage (3)
- Palette (3)
- Camion WC
- Camion eau potable
- Véhicule de liaison
- Bus petite capacité
- Bus moyenne capacité
- Bus grande capacité
- Escabeau mécanicien B737
- Escabeau mécanicien B727

Le nombre de ressources a donc été réduit, entraînant une réduction du nombre de lignes, passant ainsi de quelque mille (1000) lignes à cinq cents (500), soit une réduction de 50%. Il est certain que le modèle a perdu en précision, mais ces hypothèses étaient nécessaires.

## II- Identification, collecte et ajustement des données

### 1- Identification des données d'entrée

Les quantités de chaque type de matériel de servitude n'ont pas pu être recueillies. En effet, un service chargé de ces équipements vient tout juste d'être créé. L'inventaire complet n'est donc pas encore disponible.

Les valeurs estimées pour chaque quantité de matériel seront supérieures aux quantités existantes. La simulation aura donc pour objet de diminuer ces valeurs tout en maintenant le temps d'attente très faible, voire nul.

La très faible quantité de renseignements obtenus sur l'état du parc matériel existant ne nous permet pas de déterminer les caractéristiques de fiabilité usuelles, à savoir les taux de panne et la fiabilité. On a donc été amené à émettre l'hypothèse suivante: Tout matériel utilisé est supposé n'avoir aucune défaillance au cours du déroulement de son opération.

### 2- Collecte et ajustement des différents paramètres

Les aéronefs obéissent à la règle suivante: Ils sont soit en retard, soit à l'heure, soit en avance. L'expérience a montré qu'il existe des probabilités pour chacun de ces événements.

Les différents services au sein de l'aéroport Houari Boumediene interrogés sont unanimes sur les probabilités citées ci-dessous:

$$P [ \text{L'avion est en retard} ] = 0.5$$

$$P [ \text{L'avion est à l'heure} ] = 0.4$$

$$P [ \text{L'avion est en avance} ] = 0.1$$

Il reste à déterminer les lois des distributions des retards et des avances pour chaque type d'appareil. La collecte des données a été effectuée à partir des "Feuilles de ponctualité" qui sont disponibles au sein de la Direction des Opérations Aériennes. Il s'agit d'un document complété quotidiennement, désigné sous l'appellation "Feuille de ponctualité". On retrouve sur ce document tous les atterrissages d'avions avec les renseignements suivants:

- La compagnie propriétaire de l'avion.
- Le type de l'appareil.
- Le matricule de l'appareil.
- La provenance.
- L'heure prévue.
- Le nombre de passagers.
- La cause d'un éventuel retard ou avance.

L'étude de ces documents a permis de déterminer les paramètres des lois de distributions. Une centaine de valeurs pour chaque type d'avion (05) et pour chaque type d'événement (avance-retard) a été recueillie. L'ajustement a été effectué par le logiciel nommé STATGRAF. Il nous a ainsi permis de déterminer les différents paramètres. Il s'agit dans tous les cas d'une loi de Poisson de paramètre  $\lambda$ . On obtient le tableau suivant:

TYPE DE L'APPAREIL	PARAMETRE AVANCE (mn)	PARAMETRE RETARD (mn)
- Fokker F27	15.77	46.29
- Boeing B737	12.5	33.68
- Boeing B727	15.09	33.36
- Boeing B767	4.69	29.44
- Hercule L382	53.67	45.47

STATGRAF nous donne aussi un tracé des courbes de distribution et le test du Khi-Deux (Annexe 2).

### III- Vérification du modèle

Nous procéderons, à chaque étape de la mise en oeuvre de la modélisation, de l'implémentation et de la mise en oeuvre à la détection et à l'élimination des éventuelles erreurs de logique qui pourraient se glisser dans le modèle ou dans sa transcription informatique. Celui-ci sera alors corrigé jusqu'à l'obtention d'un comportement prévu.

Il existe à cet effet trois techniques de vérification:

#### 1- 1ère technique de vérification

Cette technique est basée sur le "tracing". Elle consiste, à partir d'un modèle simple, à imprimer le déroulement de la simulation et à suivre pas à pas le déroulement des opérations. L'instruction SLAM qui permet ce contrôle est :

```
MONTR, TRACE, 0, 1440;
```

La solution sera donc imprimée pour toute la durée de simulation prévue soit une journée (1440 mn).

#### 2- 2ème technique de vérification.

La simulation se fait à partir d'un modèle de base, à savoir le modèle constitué exclusivement d'un Mod1; au fur et à mesure que ce modèle s'avérait précis et fidèle, il s'est vu ettoffer d'instructions supplémentaires, jusqu'à l'obtention du modèle final; il faut rappeler que lors de chaque rajout d'instructions supplémentaires, les résultats furent analysés dans le sens où

aucune valeurs ne doit être extravagante, lors du passage d'un modèle à un autre.

### 3- 3ème technique de vérification.

L'avis de spécialistes de la compagnie Air-Algérie fut d'une précieuse aide. Les résultats, obtenus lors de l'exécution des modèles successifs, furent présentés aux experts concernés. Ils purent ainsi, sans participer à l'élaboration du modèle, vérifier et juger de l'exactitude des résultats.

## IV- Validation

IL est, dans un premier temps, utile de définir la notion de validation. Elle permet de tester la conformité du modèle au système.

### 1- Généralités

Précisons avant tout quelques points :

\* La validation juge de la fidélité du modèle envers le système. En effet, elle permet de s'assurer que la prise d'une décision au niveau du modèle a le même impact que sur le système étudié. On doit donc vérifier si le comportement du système et celui du modèle sont en phase.

\* La validation absolue n'existe pas. Il sera donc important d'avoir un modèle le plus fidèle possible du système.

\* La validation, de même que la vérification, est une étape qui a lieu depuis le premier modèle jusqu'au modèle final; il est donc important noter le caractère essentiel.

\* Lors de la validation, certains critères sont à prendre en

considération, car ils constituent les critères de performance du système. Ils permettent de mesurer les impacts de toute prise de décision. On a alors:

- Le temps moyen d'attente.
- La longueur maximale des files d'attente
- Le nombre d'avions traités.
- Le nombre de ressources disponibles.

## 2- La phase qualitative de validation

La philosophie qui se dégage de cette phase qualitative est la notion de "haute teneur en validité" tant recherchée et appréciée par les concepteurs. Il s'agit de vérifier que le modèle est assez significatif pour les personnes ayant un contact permanent avec le système. Trois points essentiels sont à relever:

\* La communication et les relations humaines sont des facteurs importants à ne pas négliger, et ce pour un meilleur passage de l'information.

\* Une bonne documentation en la matière permet d'acquérir une solide méthodologie. Les différentes revues aéronautiques consultées ont permis de démontrer l'intérêt particulier que portait chaque compagnie à la sécurité et à la qualité de service.

\* Souvent négligé, le bon sens et l'intuition servent à toute investigation. Ils écartent ainsi l'acceptation accidentelle de résultats absurdes et indiquent la nature de cette déviation.

### 3- 1ère phase quantitative de validation

Cette première phase quantitative de validation teste le bien-fondé des hypothèses initiales de la modélisation. Elle se fait selon les modes suivants:

- L'ajustement des données d'input.
- L'analyse de sensibilité sur le modèle.
- \* Sur les paramètres.
- \* Sur le niveau de détail.

#### 1- Ajustement des données d'input

L'ajustement des données d'input a déjà été traité auparavant.

#### 2- L'analyse de sensibilité

##### a- Sur les paramètres

Il existe une très forte interdépendance entre les différents paramètres. En effet, la variation d'un de ces paramètres entraîne automatiquement une variation des autres paramètres. Il suffit, pour le voir, de prendre l'exemple des véhicules de traction où la diminution de cette ressource génère un temps moyen d'attente et augmente la longueur de la file d'attente. L'impact sur d'autres paramètres est inévitable et est perçu lors de l'évolution des caractéristiques du système. Ces différents points seront plus amplement développés lors de l'analyse de l'output.

##### b- Sur le niveau de détail.

Cette analyse n'a pu être effectuée de par le fait de la capacité limitée de la version utilisée qui réduisait ainsi la

marge de manoeuvre. Cependant, notons que le niveau de détail se situe sur les différentes catégories d'appareils, sur les différents vols "cargo" et sur le caractère prioritaire de certains vols.

#### 4- Deuxième phase quantitative de validation.

Elle consiste à déterminer le degré de représentativité des résultats obtenus par simulation en les comparant à ceux du système réel. Si la comparaison est positive, le modèle est déclaré valide. Pour ce faire, il existe des tests statistiques.

On distingue alors:

- L'approche par inspection.
- L'approche par intervalle de confiance.
- L'approche par séries temporelles.

##### 1- L'approche par inspection.

Cette méthode se serait révélée intéressante si les renseignements de référence avaient été disponibles. Or, comme cela l'a été spécifié précédemment, il n'existe aucun support concernant les différentes variables, critères de validation.

##### 2- Autres approches statistiques de comparaison.

Ces deux méthodes n'ont pas été utilisées mais il convient de les décrire, à titre de référence.

###### a- Approche par intervalle de confiance.

Elle nécessite un nombre élevé d'observation sur le système.

Les statistiques de comparaison les plus fréquemment utilisées sont la moyenne et la variance échantillonnées.

- Soient  $m$  observations indépendantes  $(X_i, i=1, m)$ , tirées du système. On calcule  $\mu_x = E(X)$ ,  $i=1, m$ .

$E(X)$  étant l'espérance mathématique de  $X$ .

- Soient  $n$  observations tirées de  $n$  simulations indépendantes  $(Y_j, j=1, n)$ .

On calcule  $\mu_y = E(Y)$ ,  $j=1, n$ .

On construit alors l'intervalle de confiance

$$e = \mu_x - \mu_y$$

b- Approche par les séries temporelles.

Il s'agit de considérer les observations comme des séries chronologiques et de les analyser en faisant appel aux techniques de la Statistique. La corrélation sera ainsi testée.

# CHAPITRE V

CHAPITRE V

MISE EN OEUVRE DU

MODELE DE SIMULATION

ET

ANALYSE DE L'OUTPUT

## V- MISE EN OEUVRE DU MODELE DE SIMULATION ET ANALYSE DE L'OUTPUT

### V.1- Mise en oeuvre

A partir d'un même programme d'arrivées, SLAM permet la génération de plusieurs variantes, dès lors que les lois de distribution des retards, avances et arrivées ponctuelles sont connues. Pour étudier le comportement du système, nous procéderons à plusieurs exécutions, et évaluerons les valeurs moyennes des temps moyens d'attente, et des longueurs maximales des files d'attente. Ces différents résultats sont jugés acceptables, en raison des faibles variances obtenues. Pour un temps moyen d'attente de 1.67 mn par exemple, la variance est de 3.71 E-6.

### V.2- Analyse de l'output

Cette analyse se fera en étudiant trois variantes différentes, et ce pour déterminer les quantités de ressources dites critiques.

Dans la première variante, des variations arbitraires toucheront les quantités de ressources afin de déterminer les temps moyens d'attente qui en résulteraient et les coûts d'investissements correspondants.

La seconde variante consistera à perturber le programme des arrivées, en introduisant un nombre considérable d'arrivées supplémentaires. Il sera intéressant de voir l'évolution du système face à ces perturbations.

La troisième variante portera sur l'impact que peut avoir une augmentation de la durée d'une touchée transit d'un appareil.

Quelles répercussions entraîne l'augmentation de la durée d'une touchée "transit" sur le système ? En effet, il faut le préciser, les ressources seront alors immobilisées plus longtemps pour le traitement des appareils.

La mise en oeuvre de la première variante donne les résultats suivants :

Ressource n°	Maximum utilisé	Quantité maximale
1	6	10
2	2	10
3	2	10
4	2	10
5	5	10
6	5	10
7	5	10
8	5	10
9	4	10
10	2	10
11	5	10
12	5	10
13	10	10
14	5	10
15	6	10
16	9	10
17	5	10
18	4	10

Tab-1: Matériel nécessaire après simulation d'un programme donné.

Le système constitué des ressources dans les quantités citées ci-dessus présente les caractéristiques suivantes:

- La longueur maximale de chaque file d'attente est d'une (01) entité.
- Le temps moyen d'attente est nul (0 mn).

On peut donc conclure que ce tableau nous présente une ébauche de solution optimale. La valeur initialement attribuée aux quantités de ressources (10) est supérieure à la quantité nécessaire. Le système a atteint un état stationnaire, état pour lequel toute quantité de ressources supérieure à dix (10) unités n'influe plus sur son comportement.

La suite de l'étude portera donc sur une diminution des quantités de ressources afin d'en mesurer les conséquences sur le comportement du système.

Après avoir consulté le tableau 2, on peut évoluer vers le parc optimal.

Ressource finale	Ressource initiale			Prix final (10E6 DA)
	Nom	Quantité	Prix unitaire (10E6 DA)	
V. Tract Mat Mod1	V. Tract	1	0.85	0.85
	Gr. El.	1	2.89	
	Pas Mod1	1	0.004	
	Cales	2	-	
				= 3.744
O S Mod1	V. Tract	1	0.849	0.849
	Chariots	2	0.015	
				= 0.879
S Hot Mod1	C Hot	1	9.64	9.64
	V de L	1	0.367	
				= 10.007
Sce Net	C Net	1	2.57	2.57
	Aspirat.	3	0.0321	
				= 2.6663
M Mod2	V. Tract	1	0.849	0.849
	Gr. El.	1	2.89	
	Pas Tct	1	0.765	
	Cales	2	-	
				= 4.504
OS Mod2 Mod3	V. Tract	2	0.85	1.7
	T. élev Chariot	1 12	1.28 0.015	

S H Mod2	C Hot	2	9.64	19.28	= 3.16
Mod3	V de L	1	0.367	0.367	
M Mod2	G El.	1	2.89	2.89	= 19.647
	Pas Atct	1	2.79	2.79	
	Cales	2	-	-	= 5.68
OS Mod4	V. Tract	2	0.85	1.7	
	Chariot	4	0.015	0.06	
	T. elev	1	1.28	1.28	
	Pf elev	2	4.82	9.64	
	C P Cont	16	0.093	1.488	
	C P Pal	6	0.173	1.038	
	Cont	8	0.0643	0.5144	
	R F S	3	0.032	0.096	
	Pal	3	0.019	0.057	= 15.8734
Camion WC		1	2.058	2.058	2.058
Camion H2O		1	2.122	2.122	2.122
V de L		1	0.367	0.367	0.367
B P Cap		1	1.6	1.6	1.6
B M Cap		1	2.5725	2.5725	2.5725
B G Cap		1	5.145	5.145	5.145
E M Mod2		1	0.01	0.01	0.01
E M Mod3		1	0.01	0.01	0.01

Tab-2: Correspondance ressources initiales-ressources finales

### V.3- Parc opérationnel et parc technique

Lors de l'établissement des différents scénarios, nous avons procédé à l'évaluation du parc opérationnel optimal de matériel de servitude. A ce stade, il est utile de distinguer entre parc opérationnel, parc technique et parc de sécurité.

Le parc opérationnel ne tient compte que du programme des arrivées, et se doit d'assurer un service tel que les temps d'attente soient les plus faibles possibles. C'est l'ensemble de matériels de servitude exploité en situation normale (sans défaillances).

Le parc technique est constitué, quant à lui, à la fois du parc opérationnel et d'un ensemble de matériels de servitude qui n'interviennent qu'en cas de défaillance d'un des engins aéroportuaires au cours de l'exploitation (dit parc de "mulets").

Le parc de sécurité est un parc dont la quantité est déterminée selon des critères propres à chaque compagnie. Il en est de même pour la quantification du parc de "mulets".

#### V.4- Critères d'évaluation des solutions

Deux critères semblent déterminants dans la sélection d'une configuration de matériels de servitude : le temps moyen d'attente et les coûts engendrés par l'acquisition des ressources. En fait, la solution optimale est celle qui réalise le meilleur compromis entre ces deux critères, puisqu'on ne saurait considérer l'un indépendamment de l'autre : la réduction des délais d'attente résulte d'une disponibilité accrue des différents matériels, laquelle est tributaire du budget alloué.

Dans une première partie, nous considérerons le critère de coût, puis nous examinerons l'impact du facteur temps sur le parc de matériel.

##### V.4.1- Etude du critère Coût

Comme nous l'avons signalé auparavant, le budget alloué et les délais de service sont mutuellement dépendants et s'influencent dans des rapports inverses : l'augmentation de l'un est la cause ou la conséquence de la réduction de l'autre. Afin

d'illustrer ce rapport, considérons le parc de matériel dimensionné précédemment. Après report des prix, nous obtenons le tableau ci-après qui détermine le coût du parc quasi-optimal. Cette solution est dite quasi-optimale car si le temps moyen d'attente qu'elle génère est nul, le taux d'utilisation des matériels de servitude y est très faible (1%).

Ressource	Quantité	Prix unitaire (10E6 DA)	Prix total (10E6 DA)
1	6	0.849	5.094
2	2	3.744	7.488
3	2	0.879	1.758
4	2	10.007	20.014
5	5	2.6663	13.3315
6	5	4.504	22.52
7	5	3.16	15.8
8	5	19.647	98.235
9	4	5.68	22.72
10	2	15.8734	31.7468
11	5	2.058	10.29
12	5	2.122	10.61
13	10	0.367	3.67
14	5	1.6	8
15	6	2.5725	15.435
16	9	5.145	46.305
17	5	0.01	0.05
18	4	0.01	0.04
		<b>Total</b>	<b>= 333.1073</b>

Tab-3 Coût du parc quasi-optimal

Lorsqu'on analyse le tableau 3, deux constatations nous viennent à l'esprit :

\* L'importance du coût total qui est de 333.1073 E6 DA, soit quelque 33.31073 milliards de centimes.

\* L'écart existant entre les coûts des différents types de ressources. Il serait intéressant pour cela de faire varier les différentes quantités, afin de déterminer la relation qui existe entre les coûts d'acquisition et les retards engendrés dans l'exécution d'une tâche. Pour cela, considérons les ressources aux coûts les plus élevés.

Ressource	N°	Quantité	Prix unitaire (10 E6 DA)	Prix total (10E6 DA)
Hot Mod2/Mod3	8	5	19.647	98.235
Bus gde cap	16	9	5.145	46.305
Mat Mod2	6	5	4.504	22.52

V.4.1.1- Perturbation de la ressource "Hotellerie Mod2/Mod3":

Dans un premier temps, réduisons la quantité de la ressource n°8 qui est "Hot, Mod2/Mod3" (Hotellerie Mod2/Mod3) de deux (02) unités (de 5 à 3 unités). Nous observons alors la formation d'une file d'attente pour le traitement d'un aéronef Mod2, de caractéristiques :

- La longueur maximale de la file est de deux (02) entités.
- Le temps moyen d'attente est inférieur à une (01) minute.
- L'économie réalisée sur le coût de l'ensemble du parc est de 58.941 E6 DA, soit 17.7% .

V.4.1.2- Perturbation de la ressource "Bus grande Capacité" :

Faisons varier maintenant la quantité de la ressource n°16, à savoir "Bus Gde Cap" (bus grande capacité) de 9 à 6 unités. Les résultats obtenus alors laissent prévoir une économie non

négligeable. Cependant, lorsque la quantité de ressource "Bus Gde Cap" varie de neuf (09) à six (06) unités, il se crée une file d'attente lors d'une opération de débarquement ou d'embarquement des passagers d'un aéronef Mod3, de caractéristiques :

- La longueur maximale de la file est de deux (02) entités.
- Le temps moyen d'attente est d'une (01) minute.
- L'économie réalisée alors est de l'ordre de 15.435 E6 DA, soit 4.6% du coût total.

#### V.4.1.3- Perturbation de la ressource "Matériel Mod2" :

La troisième variation affecte la ressource n°6 (Mat Mod2), dont la quantité disponible est ramenée de cinq (05) à trois (03) unités, conduisant au résultat suivant :

- La création d'une file de longueur maximale de deux (02) unités.
- Le temps moyen d'attente est de une minute et demi (1.5 mn).
- L'économie réalisée est de l'ordre de 9E6 DA, soit 2.7% du coût total.

#### V.4.1.4- Perturbations simultanées de plusieurs ressources :

Un certain nombre de ressources seront perturbées arbitrairement, conformément au tableau suivant :

Ressource	N°	Quantité initiale	Quantité finale	Lg. Max. file	Temps moyen (mn)	Gain 10E6 DA
V. Tract	1	6	5	3	0.167	0.849
Net	5	5	4	1	0.05	2.663
Stes Mod2	7	5	4	1	0.181	3.16
Mod3						
Cam WC	11	5	4	1	0	2.058
Cam H2O	12	5	4	1	0	2.122
Bus P C	14	5	4	1	0.024	1.6
Bus M C	15	6	4	2	0.768	2.5725
					Total	= 15.0078

Tab-4 Quantités de ressources quasi-optimales.

où Lg. Max. File désigne la longueur maximale de la file d'attente.

Cependant, d'autres files d'attente sont apparues dans le système:

Ressource	N°	Quantité initiale	Quantité finale	Lg. Max. file	Temps moyen (mn)
Mat Mod2	6	5	5	2	1.654
Bus G C	16	6	6	2	2

- Une file s'est donc formée pour la ressource n°7 concernant la mise en place du matériel nécessaire au débarquement pour un aéronef Mod2. Celle-ci a pour longueur maximale deux (02) entités, et pour temps moyen d'attente 1.654 mn.

- Une autre file d'attente s'est formée pour la ressource n°16 concernant le débarquement pour un aéronef Mod3 et pour les bus nécessaires au transfert des passagers. Elle a pour longueur

maximale deux (02) entités, et pour temps moyen d'attente deux (02) minutes.

L'économie réalisée lors de ces diverses variations est de 15.0278 E6 DA, ce qui, ajouté aux gains déjà réalisés par les premières variantes, donne un gain total de :

Gain Total = (15.0278 + 58.941 + 15.435 + 9) E6 = 98.40 E6 DA

Soit 29.5% du coût total initial. Le coût total est 235.4 E6 DA.

Une tentative de simulation avec une diminution plus importante des ressources s'est avérée catastrophique puisque sur les cinquante-cinq (55) avions prévus, seuls vingt (20) d'entre-eux ont pu être traités. Ceci est dû au caractère essentiel de certaines ressources.

Le tableau suivant donne les quantités critiques en dessous desquelles il n'est plus possible d'assurer le traitement des avions selon les normes établies, et ce dans le cadre de notre approche sur la variation de certains paramètres en fonction des temps d'attente et des économies réalisées.

Ressource	N°	Quantité critique
V. Tract	1	5
Cam WC	11	4
Cam H2O	12	4
Bus P C	14	4

#### V.4.2- Etude du critère "Temps moyen d'attente"

Lors de l'étude de différents scénarii, il apparaît que certaines ressources dont le coût est relativement élevé, génèrent de faibles temps d'attente. On serait alors tentés de les sous-dimensionner, risquant par là de réduire considérablement les performances du système. En effet, vues les relations d'ordre qui relient les différentes opérations du processus de touchée, tout retard affectant un maillon quelconque de la chaîne provoquera inmanquablement une perturbation dans le déroulement du planning d'activité. Il apparaît alors un phénomène important caractérisé par l'effet "boule de neige". Il est aisé d'imaginer que la multiplication de ces incidents peuvent conduire à une situation où certains avions ne pourront pas être traités. Il y a donc un équilibre, voire un compromis, à réaliser entre les coûts d'investissement et les temps moyens d'attente générés.

Considérons maintenant le facteur "temps moyen d'attente". La première solution déterminée et consignée dans le tableau 1 est une solution évaluée pour un temps moyen d'attente nul mais à un prix de revient élevé. Par la suite, nous avons pu réduire les quantités de certaines ressources et arriver à un résultat acceptable voire meilleur du fait que le coût total est moindre, les temps moyens d'attente sont inférieurs à quinze (15) secondes et les taux d'utilisation des ressources sont supérieurs aux précédents.

Ressource n°	Quantité initiale	Quantité finale	Lg. Max. File	Coût (UMD)
1	6	5	1	4.2
2	2	2	1	7.48
3	2	2	1	1.75
4	2	2	1	20.01
5	5	5	1	13.33
6	5	4	1	18.01
7	5	4	1	12.64
8	5	4	1	78.58
9	4	5	1	28.4
10	2	2	1	31.74
11	5	4	1	8.23
12	5	2	1	4.24
13	10	7	1	2.56
14	5	5	1	8
15	6	5	1	12.86
16	9	7	1	36.01
17	5	5	1	0.05
18	4	3	1	0.03
<b>Total = 288.71 E6</b>				

**Tab-5 Solution optimale première phase**

où Lg. Max. File désigne la longueur maximale de la file d'attente, et Temps. Moy. Attente représente le temps moyen d'attente.

En acceptant donc un temps moyen d'attente inférieur à quinze (15) secondes, on obtient un coût total de 288.7188 E6 DA, ce qui représente une économie de 13% du coût total soit 43.3 E6 DA.

En faisant varier les ressources n°1 (5 à 4), n°8 (4 à 3), n°9 (5 à 4), n°17 (5 à 3) et n°18 (3 à 2), les longueurs maximales des files d'attente sont toujours d'une (01) entité; cependant, certains temps d'attente apparaissent pour des ressources n'ayant subi aucune variation; ce point sera développé plus tard dans l'étude.

Ressource n°	Quantité	Lg. Max. File	Temps. Moy. Attente
1	4	1	0.27
6	4	1	0.75
7	4	1	0.12
8	3	1	0.7
9	4	1	0
11	3	1	0.05
12	2	1	0.62
15	5	1	0
16	7	1	0.1
17	3	1	0
18	2	1	0

Tab-6 - Solution optimale Deuxième Phase

Ce résultat nous révèle l'interdépendance des ressources de par le fait que la diminution de l'une d'elles fait apparaître un temps d'attente dans une autre file.

L'économie enregistrée est de 28.578 E6 DA par rapport aux 288.7188 E6 DA, soit 9.10 %, donc un budget de 260.1408 E6 DA.

Une réduction supérieure de ces ressources entraîne une incapacité d'assurer l'assistance à certains avions. Ceci est dû à l'indisponibilité des ressources n° 1 (véhicule de traction) et n° 13 (véhicule de liaison), la capacité de la file étant dépassée.

D'autres variations ont été effectuées et sont résumées dans le tableau suivant :

Ressource n°	Quantité	Lg. Max. File	Temps. Moy. Attente
1	5	3	0.12
6	3	2	1.8
7	3	2	1.8
8	2	3	1.8
9	4	1	0
11	3	1	0
12	2	1	0
17	3	1	0
18	2	1	0.25

Tab-7 Solution optimale 3ème phase

L'économie enregistrée est de 26.462 E6 DA, ce qui représente 10% de 260.1408 E6 DA. Le coût total devient 233.6428 E6 DA. On peut encore réduire la capacité d'une ressource et tolérer des temps moyens d'attente raisonnables. Il s'agit de la ressource n° 5 (5 à 4 à unités). On observe alors les résultats suivants :

	R1	R5	R6	R7	R8	R11	R12	R18
Lg. Max. File	3	1	2	2	3	1	1	1
Temps d'attente	0.18	0	1.8	1.2	1.8	0.7	0.1	0.3

Tab-7 Solution optimale 4ème phase

L'économie réalisée est de l'ordre de 2.8663 E6 DA. Donc le scénario final a un coût de revient de 230.9765 E6 DA, soit 70% du budget initial réalisant un temps d'attente nul. On constate ainsi que l'économie réalisée est de 30%.

#### V.4.2.1- Perturbation du nombre d'arrivées

Si le programme journalier est brusquement perturbé par un nombre important de vols non prévus (16), un certain nombre de files d'attente apparaissent. Pour un parc déterminé à la dernière étape (voir tab-7), on obtient les résultats suivants :

Ressource n°	Quantité	Lg. Max. File	Temps. Moy. Attente
1	5	4	0.66
2	2	1	1.1
3	2	1	0
4	2	1	0
5	4	1	0
6	3	2	1.72
7	3	3	2.13
8	2	3	2.12
9	4	1	0.71
10	2	1	1.78
11	3	1	0.1
12	2	1	0.04
13	7	1	0
14	5	1	0
15	5	1	0.17
16	7	1	0.43
17	3	1	0
18	2	1	0.04

Tab-8 Evolution du système avec 10 vols supplémentaires

Un rajout d'un nombre important d'arrivées supplémentaires peut être considéré comme un programme de haute saison. Construisons, à partir du parc de matériel considéré optimal pour le programme initial constitué de 54 arrivées, un programme de 80 arrivées, en rajoutant de manière arbitraire un nombre additionnel d'arrivées. Nous enregistrons alors les temps moyens d'attente ainsi que les longueurs des files suivants :

Ressource n°	Quantité	Lg. Max. File	Temps. Moy. Attente
1	5	6	1.5
2	2	1	1.1
3	2	1	0
4	2	1	0
5	4	1	0.01
6	3	2	1.87
7	3	4	4.1
8	2	3	3.15
9	4	2	1.43
10	2	1	1.41
11	3	1	0.13
12	2	2	0.14
13	7	1	0
14	5	1	0
15	5	1	0
16	7	3	0.14
17	3	2	1.7
18	2	2	1.41

Tab-9 Evolution du système initial avec 26 vols supplémentaires

Le système a été poussé jusqu'à la réception de 90 vols quotidiens pour un parc prévu pour 54 arrivées. Les résultats se révèlent intéressants dans la mesure où ils mettent en valeur des ressources critiques; il s'agit, une fois encore, de la ressource n° 1 et de la ressource n° 13.

#### V.4.2.2- Perturbation des durées des tâches

Une troisième variante consiste à faire varier les durées des tâches lors des opérations de touchée de transit. Les quantités de ressources sont maintenues inchangées. Le programme de vol est constitué de 54 arrivées.

Lorsque la durée de l'opération de mise en place du matériel (MEP) varie de 1 à 5 mn, et celle de l'opération nettoyage de 15 à

20 mn, un certain nombre d'avions ne sont pas traités, et trois files d'attente importantes se forment au niveau des ressources suivantes :

Ressource n°	Lg. Max. File	Temps moyen d'attente (mn)
1	10	130
6	7	136
13	10	173

**Tab-10 Impact de la durée des tâches sur le système**

L'opération de déchargement des passagers pour un appareil Mod3 accuse un retard de six (6) minutes (9 à 15 mn). On enregistre alors des avions non traités et les files d'attente suivantes :

Ressource n°	Lg. Max. File	Temps moyen d'attente (mn)
1	10	136
13	10	178

**Tab-11 Impact de la durée des tâches sur le système**

L'opération déchargement des soutes pour un appareil Mod3 varie de 20 à 25 mn. Les résultats sont identiques dans la mesure où ils laissent apparaître des ressources critiques qui sont encore une fois celles de numéros 1 et 13. Les longueurs maximales des files et les temps moyens d'attente sont du même ordre que les précédents.

Cette troisième variante a tenté de démontrer que la variation des temps sur les tâches figurant ou pas sur le chemin critique conduisaient à des retards non maîtrisables. De plus, les ressources 1 et 13 constituent les maillons faibles de cette chaîne.

#### V.5- Impact des défaillances des matériels de servitude

En l'absence de données historiques permettant de tenir compte de la fiabilité des différents matériels de servitude, on ne peut qu'émettre des considérations d'ordre général destinées beaucoup plus à attirer l'attention sur cet aspect important du problème qu'à le quantifier.

Certaines hypothèses ont été émises lors de la transcription informatique du modèle de simulation. La première d'entre elles concernait le regroupement de plusieurs types de matériel en une seule ressource, en raison de la capacité limitée du logiciel, alors que la seconde avait trait à la notion de fiabilité des équipements. En effet, on avait supposé précédemment que tous les équipements effectuent leurs tâches sans défaillance aucune.

Éliminons à présent cette dernière hypothèse, et essayons de tenir compte de la fiabilité de ces équipements. Deux questions essentielles se posent alors :

- Quel serait alors l'impact d'une quelconque défaillance d'un de ces équipements sur le programme quotidien d'affectation du matériel?

- De quelle manière serait effectué le traitement?

Le parc déterminé précédemment nous permet de minimiser à la fois les temps d'attente et les coûts. Cependant, si une ressource quelconque venait à manquer, le système pourrait être considérablement affecté. En effet, il n'est pas possible de descendre au dessous des quantités déterminées sous l'hypothèse de bon-fonctionnement du matériel, sans risquer d'occasionner des retards importants. A titre d'exemple, la défaillance d'un véhicule tracteur (V.Tract) pourrait occasionner, dans ce nouveau cas de figure, un temps d'attente considérable et un nombre important d'avions pourront alors rester sans traitement (voir section précédente).

Le parc de matériel déterminé ("scénario critique") est donc à reconsidérer à la hausse, et ce en tenant compte des arrêts prévisibles (révisions) ou imprévisibles (défaillances). Malheureusement, en l'absence de données, ces considérations restent essentiellement qualitatives.

# CHAPITRE VI

**CONCLUSION**  
**ET**  
**RECOMMANDATIONS**

## VI- CONCLUSION ET SUGGESTIONS

### VI.1- CONCLUSION

L'objet de ce travail consiste à dimensionner le parc de matériel de servitude nécessaire pour une escale donnée.

Pour concrétiser cet objectif, l'étude s'est faite conformément au cadre méthodologique de rigueur.

Dans ce cadre-ci, deux approches de traitement ont été tour à tour exploitées, implémentées et mises en oeuvre lorsque cela fut possible. Rappelons à cet effet que l'alternative basée sur un modèle mathématique de programmation en nombre entier n'a pu aboutir en raison des capacités limitées de résolution (taille du problème) des logiciels disponibles.

C'est ainsi que l'outil de simulation nous a permis d'obtenir les résultats suivants jugés satisfaisants dans le sens où ils répondent aux objectifs initiaux.

Vu l'aspect stratégique du problème, nous nous sommes intéressés aux critères d'évaluations des solutions.

Malgré les diverses configurations des matériels de servitude définies par chaque solution, elles partagent néanmoins un point commun, à savoir les mêmes maillons faibles dans la chaîne globale du processus de touchée.

Il serait donc judicieux de porter un intérêt particulier à l'étude de ces maillons; à cet effet certaines suggestions ont été émises.

D'une manière plus générale, le modèle de simulation mis au point dans cette étude peut être vu comme un outil d'aide à la décision. Il pourra être d'un apport considérable lors des négociations budgétaires puisqu'il permet directement de visualiser les conséquences de toute politique <sup>(de)</sup> dimensionnement du parc de matériel.

#### VI.2- SUGGESTIONS

Seule une étude technico-économique permettrait de dimensionner de manière plus rigoureuse les quantités exactes des différents types de matériel de servitude nécessaires à partir du parc opérationnel évalué dans le cadre de cette étude. Cependant nous pouvons néanmoins <sup>(?)</sup> émettre quelques suggestions.

Un dimensionnement rigoureux des véhicules de traction et des véhicules de liaison s'avère nécessaire. Ces véhicules sont soumis à de fréquents déplacements et à une utilisation intensive. Aussi, ils interviennent au début de chaque touchée et ne sont libérés qu'à la fin de celle-ci. Si une de ces ressources n'est pas disponible au moment voulu, quel que soit le retard engendré, on peut s'attendre à une amplification de celui-ci par l'effet "boule de neige" dont les conséquences sont désastreuses.

La compagnie Air-Algérie doit constituer un parc fermé dans lequel sont rangés les chariots à bagages et où les entrées, les sorties et les défaillances seront répertoriées afin de gérer

l'état du parc.

Les opérations d'hôtellerie pour appareils de <sup>typ</sup> Mod2, Mod3, Mod4 et Mod5 ne s'effectuent qu'avec un seul camion "catering" qui se déplace de l'avant à l'arrière de l'appareil, alors que les normes en prévoient deux (02). Cet état de fait résulte de la présence du camion NAFTAL muni de sa remorque qui empêche les deux camions "catering" d'opérer en même temps, et ce à cause de l'espace qu'il occupe.

Le matériel de télécommunication s'avère indispensable pour tous les services opérationnels afin d'être toujours à l'écoute de la tour de contrôle. Actuellement, certains retards sont dus au manque de "radio". Lors de l'arrivée d'un appareil, le "service bus" n'est pas directement sollicité, mais l'information est transmise à une hotesse dont "le temps de réaction" est assez important. Il s'écoule parfois quelques minutes avant que celle-ci n'intervienne. Il faudrait, pour palier à ce genre de retard, que l'hotesse et le bus prévus soient opérationnels quelques minutes avant l'immobilisation de l'avion soit donc dès son atterrissage. Cette suggestion est aussi valable dans le cadre de l'opération d'embarquement des passagers où ~~l'on~~ vient se greffer un élément supplémentaire qui est ~~la présence d'~~ un agent des forces de l'ordre.

Les conséquences d'un retard de cinq (05) minutes sont catastrophiques sur l'accomplissement des tâches prévues; ceci implique donc un dimensionnement adéquat.

## ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE

- [ 1 ] - ADLER R. B. et FRICKER S. J.,  
"The Flow of Scheduled Air Traffic" in Massachusetts  
Institute of Technology, RLE Technical Reports, n°198,  
(2-05-1951) and n°199 (13-08-1951).
- [ 2 ] - BANKO'S Jerry and CARSON J. S. II.  
"Discret-Event System-Simulation", 1984, ed. Prentice Hall.
- [ 3 ] - DIRECTION DES OPERATIONS D'AIR-ALGERIE.  
"Note de Service -n°010/83 du 20-02-1983", Air-Algérie.
- [ 4 ] - KATOH N., IBARASKI T. and MINE H.  
"Notes on the Problem of the Allocation of Ressources to  
Activities in Discrete Quantities" in "The Journal of  
Operational Ressource Society", Vol 31, Number 7, July 80  
pp. 595-598.
- [ 5 ] - LOCKHEED CALIFORNIA COMPAGNY.  
"Facility Planning Guide", 1975.
- [ 6 ] - MJELDE K. M.  
"Ressource Allocation with Noise Constraints" in  
"The Journal of The Operational Research Society",  
Vol 29, n°10, October 78, pp. 1021-1023.

[ 7 ] - PRISKER A. Alan B.

"Introduction to Simulation and SLAM II"- 1984.

Ed. Pritsker and Associates.

[ 8 ] - SHANNON R. E.

"Systems Simulation: The Art and Science"- 1975.

Ed. Prentice Hall.

[ 9 ] - SHIH.

"Discrete Ressource Allocation by a Branch and Bound Method" in "The Journal of The Operational Research Society", Vol 29, n°10, October 78, pp. 1021-1023.

[ 10 ] - SLOWINSKI Roman.

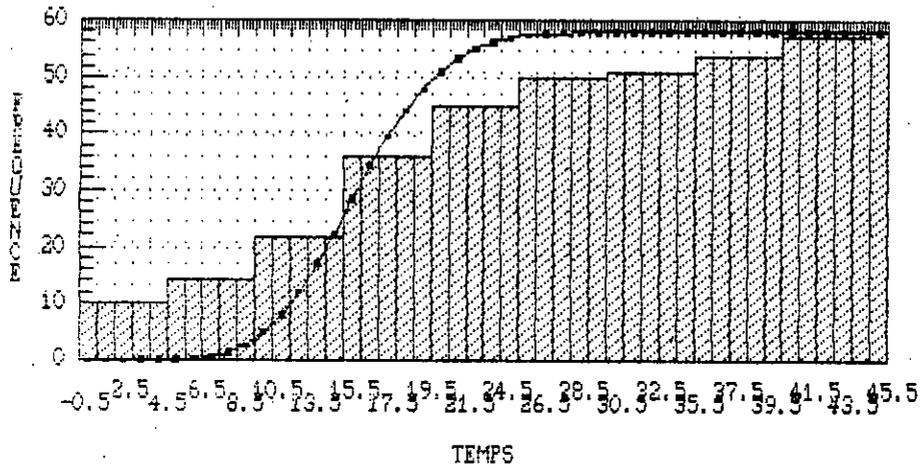
"Two Approches to Problems of Ressource Allocation Among Project Activities-A Comparative Study" in "The Journal of The Operational Research Society", Vol 31, n°8, August 80, pp. 1021-1023.

[ 11 ] - TECHNICAL SECRETARIAT OF I.A.T.A. .

"Handbook of Production Planning and Control"- 1986.

[ 12 ] - TOUMI S. et SEGHOUANI N., "Simulation par SLAM II de la clinique de BOU-ISMAIL", PFE sous la direction de A. BOUZAHER et L. KERBACHE, E.N.P, 1990.

HISTOGRAMME DE FREQUENCE DES AVANCES  
POUR LE FOKKER F27

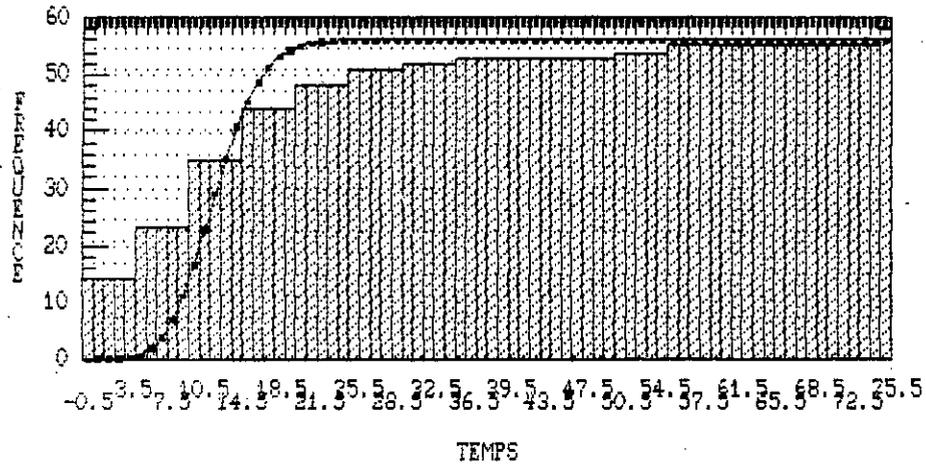


Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		11.50	22	8	24.28
	11.50	13.50	0	9	8.97
	13.50	14.50	0	6	5.54
	14.50	15.50	14	6	11.46
	15.50	16.50	0	6	5.75
	16.50	17.50	0	5	5.33
	17.50	19.50	0	9	8.55
above	19.50		22	10	14.40

Chisquare = 84.2846 with 6 d.f. Sig. level = 4.44089E-16

HISTOGRAMME DE FREQUENCE DES AVANCES  
 POUR LE BOEING B 737

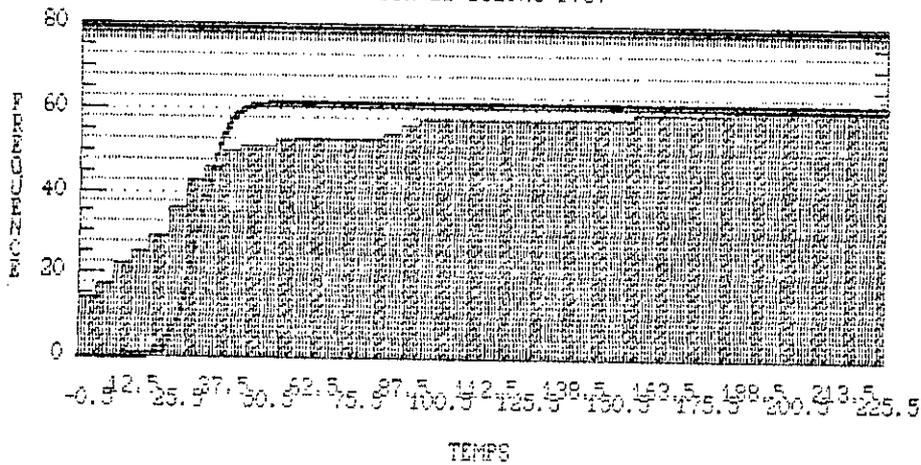


Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		8.89	23	7	36.61743
	8.89	13.33	12	28	9.27648
above	13.33		21	21	.00121

Chisquare = 45.8951 with 1 d.f. Sig. level = 1.24756E-11

HISTOGRAMME DE FREQUENCE DES RETARDS  
 POUR LE BOEING 737

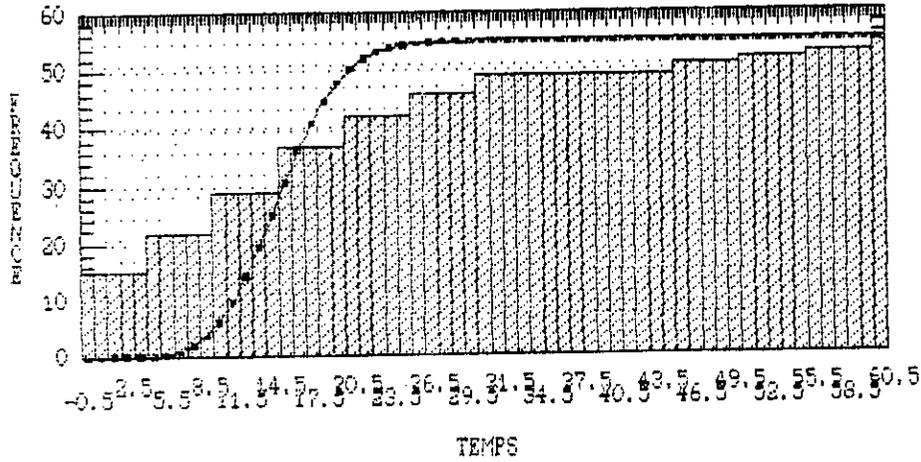


Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		26.67	36	6	137.92
	26.67	40.00	14	47	23.34
above	40.00		11	7	1.70

Chisquare = 162.966 with 1 d.f. Sig. level = 0

HISTOGRAMME DE FREQUENCE DES AVANCES  
POUR LE BOEING B 727

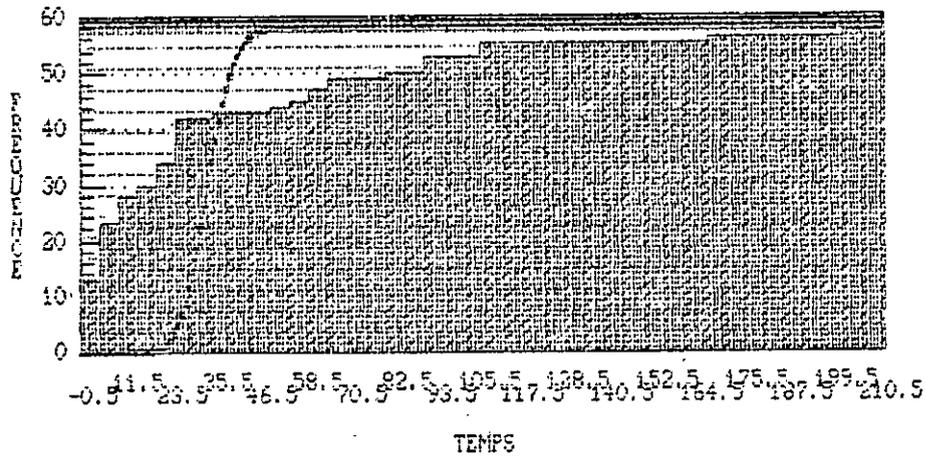


Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		10.00	29	6	82.2750
	10.00	13.33	0	13	13.2257
	13.33	16.67	8	17	4.4120
above	16.67		18	19	.0481

Chisquare = 99.9608 with 2 d.f. Sig. level = 0

HISTOGRAMME DE FREQUENCE DES RETARDS  
 POUR LE BOEING B727

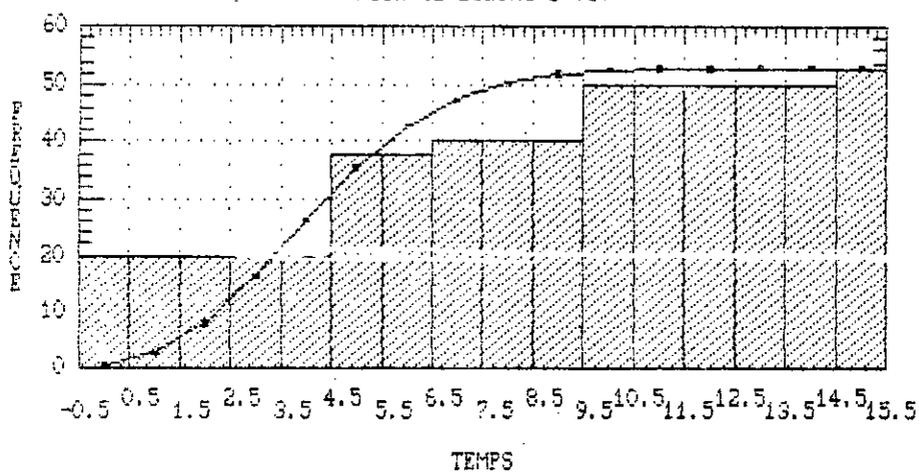


Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below	26.67	26.67	42	7	188.1
	26.67	40.00	1	45	43.0
above	40.00		15	6	11.5

Chisquare = 242.578 with 1 d.f. Sig. level = 0

HISTOGRAMME DE FREQUENCE DES AVANCES.  
POUR LE BOEING B 767

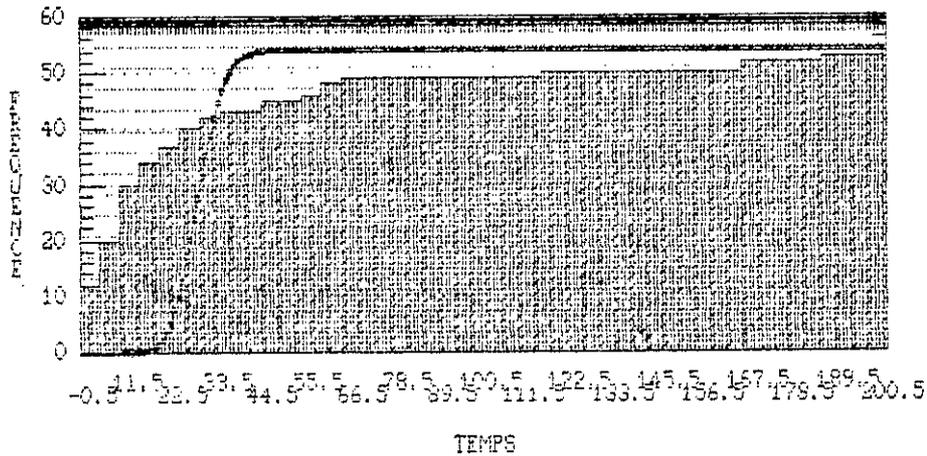


Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		2.50	20	8	17.57
	2.50	3.50	0	8	8.35
	3.50	4.50	0	10	9.80
	4.50	5.50	18	9	8.36
	5.50	6.50	0	7	7.21
above	6.50		15	10	2.10

Chisquare = 53.4201 with 4 d.f. Sig. level = 6.95988E-11

HISTOGRAMME DE FREQUENCE DES RETARDS  
POUR LE BOEING B767

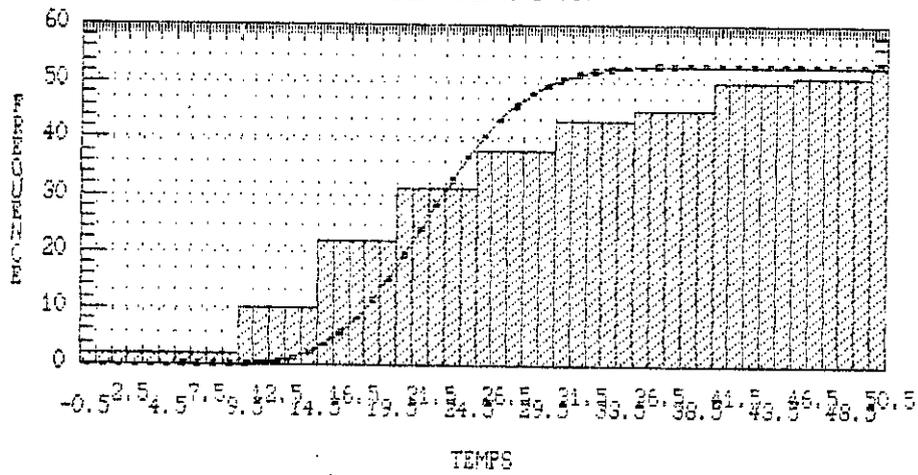


Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		22.22	37	5	194.742955
	22.22	33.33	5	37	27.431072
above	33.33		12	12	.000248

Chisquare = 222.174 with 1 d.f. Sig. level = 0

HISTOGRAMME DE FREQUENCE DES AVANCES  
POUR BDEING B 747

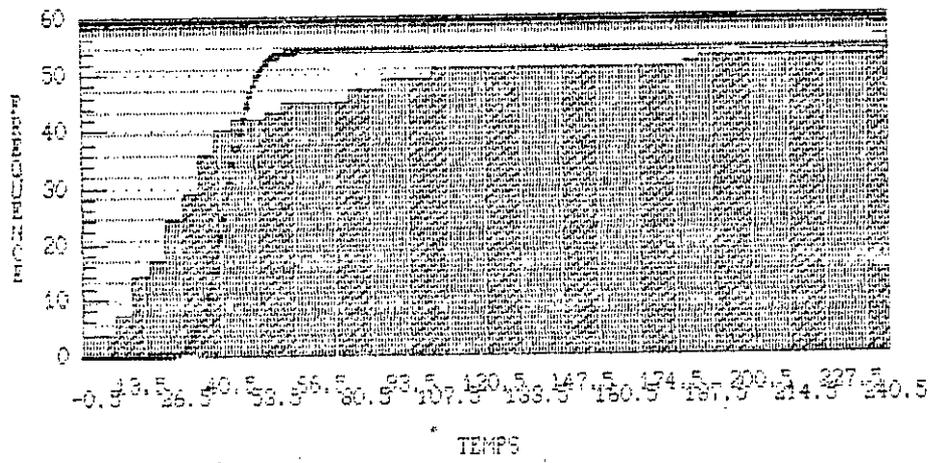


Chisquare Test

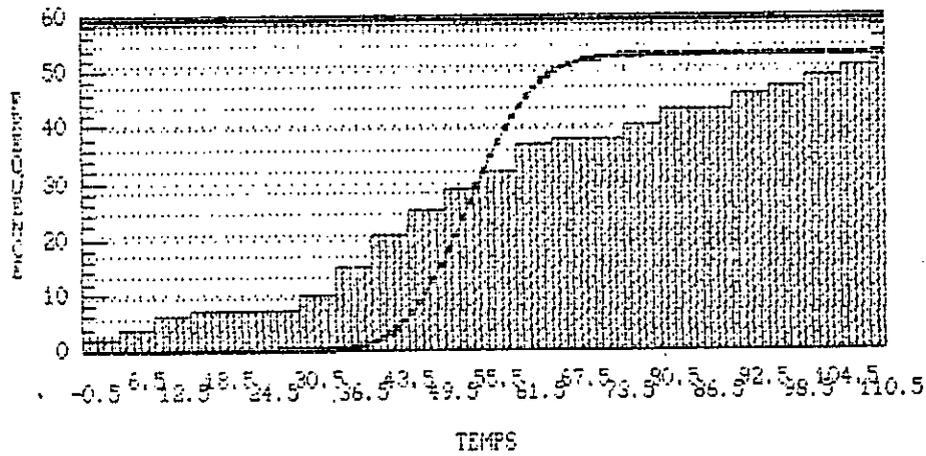
	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		16.50	22	6	47.1596
	16.50	18.50	0	6	5.7937
	18.50	20.50	9	8	.1435
	20.50	22.50	0	9	8.9144
	22.50	24.50	0	8	8.3668
	24.50	26.50	7	7	.0177
above	26.50		15	10	2.9311

Chisquare = 73.3269 with 5 d.f. Sig. level = 2.07613E-14

HISTOGRAMME DE FREQUENCE DES RETARDS  
POUR LE BOEING B747



HISTOGRAMME DE FREQUENCE DES AVANCES  
POUR L'HERCULES L 382

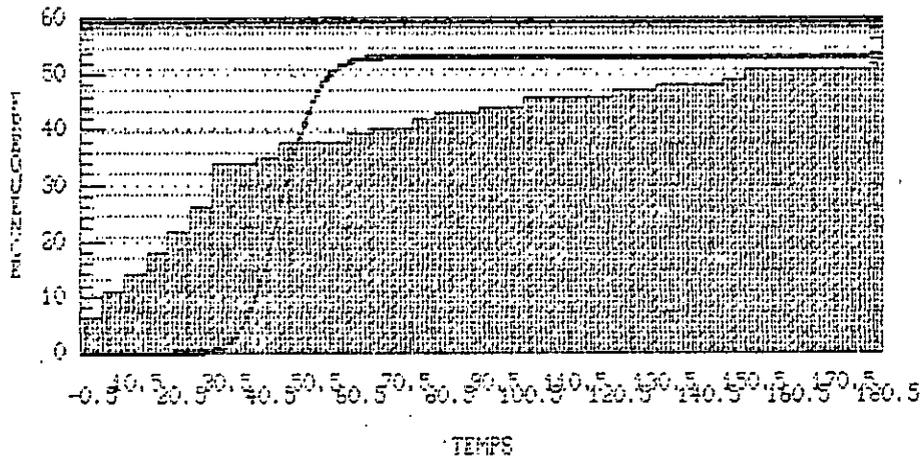


Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		46.67	25	9	30.74
	46.67	53.33	4	18	10.69
	53.33	60.00	8	17	4.97
above	60.00		16	9	4.88

Chisquare = 51.2795 with 2 d.f. Sig. level = 7.3247E-12

HISTOGRAMME DE FREQUENCE DES RETARDS  
POUR L'HERCULES L362



Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		40.00	35	12	41.218
	40.00	50.00	3	29	23.016
above	50.00		15	12	.805

Chisquare = 65.0403 with 1 d.f. Sig. level = 7.77156E-16

