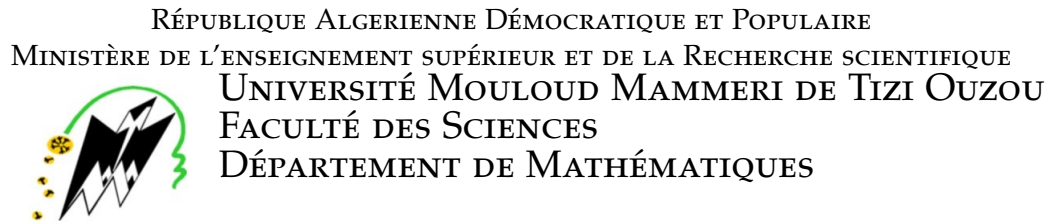


N° d'ordre: .....



# MÉMOIRE DE MASTER

Filière : Mathématiques  
Spécialité : Recherche opérationnelle

Par

HOURLIA HOCINI    KAHINA GUERBAS

## OPTIMISATION D'UNE PLATE-FORME AÉROPORTUAIRE À DENSE TRAFIC : AÉROPORT HOUARI BOUMÉDIÈNE

Soutenu le 04 octobre 2022 devant le jury :

Pr.	AICHE FARID	UMMTO	Président du jury
Dr.	CHEBBAH MOHEMMED	UMMTO	Examineur
Dr.	GUETTAF RABAH	UMMTO	Encadreur

Année Universitaire : 2021/2022



# Remerciements

Tout d'abord, je remercie le Bon Dieu le tout puissant de m'avoir prêté foi, courage, santé, et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Il m'est agréable d'adresser mes remerciements à mon promoteur, Monsieur GUETTAF Rabah de m'avoir encadré et pour ses précieux conseils et idées.

Je remercie toutes celles et tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, par leurs ouvrages, leurs expériences, leurs avis et leurs opinions.

Mes respectueux remerciements aux membres de jury de m'avoir honoré par leurs présences afin d'examiner et évaluer ce travail

Je tiens très respectueusement à dédier ce modeste travail à :

Mes très chers parents pour leurs soutiens permanents durant toutes ses années , et je les remercie d'avoir toujours été là à mes coté , de m'avoir encouragée tout au long de mes études.

Mes soeurs : Melissa, Samia, Zina et son mari CHALLEL Ahmed

Mes chères petites cousines Dalina, Chanez, Léa

Et cousin Moumoh, Mouhend, Yacine, Rabah, Massi, Ilyan.

Toute ma famille, du plus vieux jusqu'au plus jeune.

Je dédie aussi ce travail à mon copain ZEDEK Massinissa et sa famille.

Ma binôme GUERBAS Kahina et à toute sa famille.

Mes copains YEFSAH Dalia ,Juba ,Islam et à tous mes amis et camarades.

Merci  
HOURIA

je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Il m'est agréable d'adresser mes premiers remerciements à mon promoteur, Monsieur GUETTAF Rabah de m'avoir encadré et pour ses précieux conseils et idées.

Je remercie toutes celles et tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, par leurs ouvrages, leurs expériences, leurs avis et leurs opinions.

Mes respectueux remerciements aux membres de jury de m'avoir honoré par leur présence afin d'examiner et évaluer ce travail.

Je tiens très respectueusement à dédier ce modeste travail a

Mes très chers parents, à qui je dois ma vie, ma réussite et tout mon respect. Ce travail constitue une légère compensation pour tous leurs nobles sacrifices afin d'assurer mon bien être et mon éducation, leur amour et soutien a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Que Dieu les protège.

Et mes très chers frères : Ghilas, Menad, Abdelaziz et Massinissa Qui m'ont toujours été là pour moi et qui ont toujours encouragé à faire de mon mieux et aller plus loin.

Que Dieu les protège.

Mes chers amis avec qui j'ai partagé d'agréables moments : ARBANE Sonia, HADJ ALI Sarah, ABALOU Houria, YEFSAH Dalia, KERRAD ANYA, AIT SLIMANI Djedjiga, DJERROUD Juda, GOURIA Messaoud et DERBANE Juba  
Ma binôme et mon amie HOCINI Houria et toute sa famille.

Merci.

KAHINA

# TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
<b>1 ANALYSE PRÉLIMINAIRE</b>	<b>3</b>
1.1 INTRODUCTION . . . . .	3
1.2 LES PRINCIPAUX CONCEPTS POUR L'OPTIMISATION DU TRAFIC AU SOL . . . . .	3
1.2.1 Optimisation de la séquence de piste . . . . .	3
1.2.2 Amélioration de la prévisibilité du trafic aéroportuaire . . . . .	4
1.2.3 Système évolué de surveillance et de guidage au sol (ASMGCS) . . . . .	4
1.3 LES OUTILS . . . . .	6
1.3.1 Les outils opérationnels du contrôle d'aéroport . . . . .	6
1.3.2 Quelques outils d'analyse . . . . .	6
1.4 OBJECTIFS . . . . .	7
1.4.1 Cadre de travail . . . . .	7
1.4.2 Niveau de réalisme recherche . . . . .	7
1.4.3 Résolutions des situations . . . . .	8
<b>2 L'ORGANISATION GÉNÉRALE D'UNE PLATE-FORME AÉROPORTUAIRE ET LA CIRCULATION AU SOL</b>	<b>9</b>
2.1 INTRODUCTION . . . . .	9
2.2 STRUCTURE D'UN AÉROPORT . . . . .	9
2.2.1 Définition . . . . .	9
2.2.2 L'organisation générale d'une plateforme aéroportuaire . . . . .	10
2.3 PROBLÈME OPÉRATIONNEL DE LA CIRCULATION AU SOL DES AVIONS	16
2.3.1 Les problèmes liés à la météorologie . . . . .	17
2.3.2 Les problèmes liés aux performances des avions . . . . .	17
2.3.3 Résolution des problèmes . . . . .	18
2.4 L'ENJEU DU CONTRÔLE DE TRAFIC AVION AU SOL . . . . .	19
2.5 CONCLUSION . . . . .	19
<b>3 LA CAPACITÉ AÉROPORTUAIRE</b>	<b>20</b>
3.1 INTRODUCTION . . . . .	20
3.2 GÉNÉRALITÉS SUR LA CAPACITÉ AÉROPORTUAIRE . . . . .	20
3.2.1 Définition de la capacité . . . . .	20
3.2.2 Capacité du système de voie . . . . .	22
3.2.3 Facteurs influants sur la capacité du système des pistes . . . . .	22
3.3 ÉVALUATION DE LA CAPACITÉ AÉROPORTUAIRE . . . . .	23

3.3.1	Modèle de détermination de la capacité aéroportuaire . . . . .	23
3.4	CALCUL DE LA CAPACITÉ DES PISTES DE L'AÉROPORT D'ALGER (HOUARI BOUMEDIEN) . . . . .	24
3.4.1	Calcul du temps d'occupation de piste (TOP) . . . . .	24
3.4.2	Calcul de la capacité . . . . .	25
3.5	CONCLUSION . . . . .	28
4	MODÉLISER L'ENSEMBLE DES PROBLÈMES DE GESTION DU TRAFIC ET RÉOLUTIONS . . . . .	30
4.1	INTRODUCTION . . . . .	30
4.2	PROBLÈMES DE GESTION DU TRAFIC AU SOL . . . . .	30
4.3	OUTILS AUTOMATISÉS DE GESTION DE TRAFIC . . . . .	32
4.4	L'ANALYSE DES PROBLÈMES DE GESTION DE TRAFIC AU SOL . . . . .	32
4.4.1	L'analyse du problème (G <sub>0</sub> ) . . . . .	33
4.4.2	L'analyse du problème (G <sub>1</sub> ) . . . . .	35
4.4.3	L'analyse du problème (G <sub>5</sub> ) . . . . .	35
4.5	CHOIX INDÉPENDANT DES CHEMINEMENTS (ALGORITHME DE DIJKSTRA) . . . . .	36
4.6	CONCLUSION . . . . .	37
	BIBLIOGRAPHIE . . . . .	41

## LISTE DES FIGURES

2.1	Représentation macroscopique globale des flux aéroportuaires . . . . .	10
2.2	Les zones du système aéroportuaire . . . . .	11
2.3	Système simple . . . . .	12
2.4	Systèmes linéaires . . . . .	12
2.5	Systèmes à jetées . . . . .	13
2.6	Système à transbordement . . . . .	13
2.7	Système hybride . . . . .	14
2.8	Les zones d'apron ou aires de trafic . . . . .	14
2.9	Réseau de voies de circulation . . . . .	16
3.1	Système aéroportuaire . . . . .	21
3.2	Schéma de principe de calcul de TOP en cas de départ . . . . .	25
4.1	Interdépendances entre problèmes de gestion et de contrôle du trafic au sol des aéronefs . . . . .	31
4.2	Organisation de l'espace aérien . . . . .	33
4.3	Exemple de conflits entre avions dans la zone de stationnement . . . . .	35
4.4	Exemple de conflits entre avions dans la zone de stationnement . . . . .	36

# LISTE DES TABLEAUX

25table.caption.18 26table.caption.20 27table.caption.22 28table.caption.23

# Introduction générale

La croissance du trafic aérien mondial pose des problèmes de capacité. Le niveau de l'espace aérien est plus élevé que la plate-forme aéroportuaire ce qui se traduit par plusieurs retards de vol. L'objectif d'une étude de capacité aéroportuaire est d'évaluer et de prédire la performance d'un aéroport, c'est-à-dire le flux de trafic maximal, exprimé en nombre de mouvements aéronefs ou passages pouvant offrir aux usagers des conditions satisfaisants dans un temps unitaire. Ces études constituent une partie importante à l'aide d'infrastructure aéroportuaire et décisions de planification opérationnelle. Cependant si la recherche examine souvent précisément la possibilité d'expansion où la modification des infrastructures (terminaux, voies de circulation, pistes...) qui les intéressent; la question de l'optimisation de la gestion des ressources existants est rarement abordée.

Cependant certains de ces problèmes peuvent être formulées comme des problèmes d'optimisation combinatoire proche des problèmes classiques étudiés en recherche.

Les aéroports se trouve ont souvent en première ligne :

- Large éventail de parties prenantes (Agence de contrôle du trafic, gestionnaire d'aéroports, société d'assistance technique d'aéroport, société d'assistance technique et chambre de commerce, services de police, douanes.....) rendant les opérations aéroportuaires extrêmement complexes et difficiles.
- Des développements relativement récents dans de nombreux centres commerciaux offrent à l'aéroport un rôle vital, où le moindre retard peut avoir des conséquences considérables et c'est précisément cette forme d'exploitation aéroportuaire qui se traduit par des Pics de trafic insolubles.
- Enfin, la dégradation des conditions météorologiques, parfois, prévue peut très rapidement paralyser l'aéroport, qui reste étrangement le seul endroit où les avions ne peuvent pas circuler sans visibilité.

Ces différents points mettent en évidence les limites d'un système dont le fonctionnement reste encore entièrement basé sur l'expertise et l'expérience humaine : un tel système s'avère beaucoup trop sensible aux imprévus et crée de nombreux problèmes de coordination entre ses intervenants. Il nécessite la définition et l'application de procédures opérationnelles rigides, qui aboutissent souvent à une exploitation sous-optimale des ressources disponibles : même si l'automatisation complète du système n'est pas matériellement envisageable et ne reste pour l'instant qu'un sujet de polémique, l'assistance

de systèmes automatiques apparaît non seulement prometteuse pour l'optimisation des procédures au sol, mais semble de plus indispensable aux développements futurs des plus grands aéroports :

De nombreuses innovations technologiques, utilisant des radars au sol pourraient améliorer le guidage des aéronefs au sol, notamment en désensibilisant les opérations aéroportuaires, réduit la visibilité et améliore la sécurité globale.

Les outils d'optimisation peuvent faciliter une meilleure partition du trafic en temps réel sur la plateforme, en cherchant à minimiser les temps de roulage et à maximiser l'utilisation de piste.

Cette optimisation fonctionne lorsque l'aéroport possède de nombreuses voies de circulation. L'application de procédures prédéfinies est difficile à mettre en œuvre : Le nombre de chemins et les points d'arrêt possible pour chaque avion sont bien confondus, et l'ordre des déviations qui se produisent sur la voie ont un impact important sur les retards qui en résultent.

Notre mémoire est organisée comme suit :

**(Chapitre 1)** une analyse détaillée du trafic au sol qui permet de formaliser le problème d'optimisation à résoudre dans chaque situation de trafic, **(Chapitre 2)** apporte une description physique des infrastructures aéroportuaires interagissant avec le trafic des avions, puis l'objectif du chapitre est d'introduire dans cette analyse de capacité l'effet de l'organisation des voies de circulation et du trafic des avions au sol, **(Chapitre 3)** aborde le problème de l'évaluation de la capacité aéroportuaire, elle se place donc au niveau du dimensionnement ou du redimensionnement des installations aéroportuaires, **(Chapitre 4)** aborde l'ensemble des problèmes de gestion du trafic des avions au sol sur le court terme. L'objectif ici est de développer un système d'aide à la décision destiné à seconder les contrôleurs de trafic dans leurs activités de gestion.

# ANALYSE PRÉLIMINAIRE



## 1.1 INTRODUCTION

L'amélioration des conditions de circulation de transport terrestre s'avère être un point clé pour le développement des grands aéroports. Les innovations attendues dans ce domaine peuvent en effet prétendre que les deux participent à la réduction résoudre les problèmes environnementaux en limitant la congestion au sol et en améliorant les conditions de sécurité et au guidage des avions et réduire les retards en optimisant les trajectoires au sol.

La prise en compte récente de ces intérêts a considérablement accélérée ce secteur d'activité

## 1.2 LES PRINCIPAUX CONCEPTS POUR L'OPTIMISATION DU TRAFIC AU SOL

### 1.2.1 Optimisation de la séquence de piste

Sur les plus grandes plates-formes aéroportuaires et dans des conditions d'exploitation « normales » les pistes restent les éléments les moins capacitifs car les séparations imposées entre mouvements sont restrictives derrière les aéronefs à forte turbulence de sillage et dépendent des contritions météorologique. Sur ce point, différentes améliorations peuvent être envisagées.

#### a Optimisation des procédures d'approche

La définition d'une procédure d'approche adaptée facilite le séquençement initial des commandes d'approche car elle peut faire varier la vitesse et la trajectoire des avions [SUAREZ \[2003\]](#). La fourniture de pistes d'attente différentes peut réguler le flux d'approche, en particulier lorsque le flux d'approche dépasse la capacité de la piste. Dans certains cas, les procédures d'approche peuvent également être utilisées pour modifier légèrement l'horaire d'approche en fonction des contraintes de turbulence de sillage.

Plus généralement, l'amélioration des procédures d'approche peut être vue comme un problème d'optimisation complexe, limitée par les performances des avions (déterminant les types de trajectoires qu'il peuvent

suivre) le critère étant les capacités de ces secteurs. Ce domaine de recherche nécessite une modélisation difficile des procédures aériennes utilisées lors de la phase d'approche. Cependant, il a l'avantage de pouvoir traiter en dehors de tout contexte temps réel, et il semble particulièrement actif en Europe, ou de nombreux aéroports voisins partagent les mêmes segments d'approche.

#### b Diminution des normes de séparation

Normes de séparation inférieures selon certaines conditions météorologiques peuvent entraîner une réduction des capacités aéroportées. Coût considérable, notamment du fait du guidage de l'avion tout au long de l'approche finale (jusqu'à l'atterrissage) certaines normes doivent être considérablement relevées dans ce cas de séparation. Deux aspects de ce problème peuvent être étudiés :

- précision des équipements (aéroportés ou au sol) qui permet à l'avion d'attaquer creusement précis (avec instruments et mauvaise visibilité), une innovation une technologie qui peut être développée de manière bénéfique et permettre, à long terme, des « normes » inférieures proche de la séparation.
- les études aérodynamiques de la turbulence de sillage des avions semblent également prometteuses, l'effet des vents forts sur la propagation turbulence peut conduire, par exemple, à la séparation dans le temps et plus illimitée que la séparation à distance normale pratiquée [J.-P. NICOLAON \[2003\]](#), [W. COOPER \[2003\]](#). Utilisation en temps réel des instruments de mesure l'importance des tourbillons (ou vortex) induits par les avions [G. DONOHUE \[2003\]](#) peut également apporter des gains de productivité significatifs.

### 1.2.2 Amélioration de la prévisibilité du trafic aéroportuaire

Les aéroports apparaissent comme les endroits les plus imprévisibles pour le trafic aérien : ordre les actions lors des escales des avions sont une course contre la montre, c'est le moment de gérer un grand nombre d'imprévues. Le temps de roulage est également extrêmement sensible au débit d'avions sollicitant la piste : dans ce contexte l'amélioration de la prévisibilité du trafic nécessite une large diffusion de l'information. En temps réel, non seulement entre l'aéroport et les postes de contrôle d'approche, mais aussi entre chaque participant au même aéroport.

### 1.2.3 Système évolué de surveillance et de guidage au sol (ASMGCS)

Les premiers concepts SMGCS (Surface Movement Guidance and Control System) introduits par l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) ont abouti au système actuel de suivi radar du trac au sol. Depuis les années 90, ils font donc place aux nouveaux concepts ASMGCS (Advanced SMGCS), toujours sous l'égide de l'OACI en collaboration avec la Commission

Européenne, EUROCONTROL, EUROCAE (European Organisation for Civil Aviation Equipment) la FAA (Federal Aviation Administration) la NASA (National Aeronautics and Space Administration) et les aéroports. Ces concepts fixent un ensemble d'objectifs pour les futurs systèmes de surveillance et de guidage des avions au sol [VALLEE](#) :

La sécurité doit être améliorée, en redéfinissant les rôles et responsabilités de chacun : utilisation de la visualisation radar comme un outil, en particulier dans des conditions de mauvaise visibilité le contrôle (et pas seulement comme source d'information secondaire) doit être formalisé.

Pour le développement d'une visualisation radar plus sophistiquée offre une vision complète la sécurité de tous les équipements mobiles (véhicules et aéronefs) sur la plate-forme doit être assurée Guidage d'avion.

Dans ce cas, de nouvelles technologies sont proposées :

- D-GPS (Differential Global Positioning System). Capable de fournir positionner dans l'espace avec une précision inférieure au mètre, à partir du roulement corrections pour les lancements de satellites et de satellites géostationnaires.

- L'ADS-B (Automatic Dependant Surveillance) permettant la diffusion de la position d'un mobile à tous les autres. Des systèmes de détection de pertes de séparation et d'incursion piste doivent également être en mesure de donner l'alerte au contrôle (fonction de filet de sauvegarde).

La gestion du trafic de la surface doit être facilitée et améliorée grâce à des outils de contrôle technique et opérationnel :

- Les améliorations des systèmes de guidage visent notamment à assurer le fonctionnement des aéroports tous le temps l'avion peut continuer à rouler dans cette condition faible visibilité (brouillard épais).

- Des outils liés aux système de visualisation radar, capable de suivre les aéronefs, peuvent participer à leur séquençage sur les parkings et rampes d'accès sur la piste.

- Data Link (transfert automatique de certaines données entre le contrôleur et l'aéronef) Joue également un rôle en simplifiant la tâche du contrôleur et en offrant plus de convivialité activer les fréquences de communication radio.

## 1.3 LES OUTILS

### 1.3.1 Les outils opérationnels du contrôle d'aéroport

Les installations aux points de contrôle des aéroports varient naturellement d'un aéroport à un autre dans le même aéroport. Dans tous les cas, la communication avec les pilotes a été effectuée par liaison radio et coordination avec les postes de contrôle adjacents (en route ou en approche) connexion téléphonique. Le système de stripping (support papier aux formats prédéfinis) permet de recevoir et suivre du plan de vol (intention de la compagnie aérienne). Dans les grands aéroports, les points de contrôle « sol » inclut le système de visualisation ODS (Opérationnel Display system) pour le trafic au sol représente les données reçues du radar au sol.

### 1.3.2 Quelques outils d'analyse

De nombreux outils informatiques pour étudier le contexte des développements futures contrôle ou visa à précises le développement des aides au contrôle. Ils permettent essentiellement des mesures plus ou moins macroscopiquement l'impact de différents facteurs sur le flux de trafic

- **TAAM** (Total Airspace and Airport Modeler) [1999.www.preston.net](http://1999.www.preston.net) [1999], c'est un simulateur de trafic complet développé par « Preston Aviation Solutions » il simule toutes les phases de vol, du stationnement au parking du départ à l'arrivée (porte à porte), riche en détails mais pas bon marché c'est parfois difficile à mettre en place. L'aéronef est géré par une optimisation globale qui priorise les règles mais finalement ne cherche pas de solution suggéré.

- **SIMMOD** (SIMULATION MODEL) et **ATAC CORPORATION** [1998] mis en œuvre par la FAA (Federal aviation administration), est également un simulateur porte-à-porte, mais plus simplifié que TAAM. Les intervalles de roulage ne sont pas pris en compte et l'entrée des avions sur la piste est modélisée par des files d'attente (dans l'ordre théorique attendu des arrivées sur la piste), de sorte que les problèmes de trafic sur la piste sont ignorés Sol de l'avion. D'autre part, le simulateur peut évaluer les changements de latence en fonction de la configuration de la piste.

- **OPAL** (Optimisation Platform for Airports, including land-side) [EENIGE](#) [2001] développé par NLR (Nationaal Lucht & Ruimtevaartlaboratoriu) dans le cadre d'un projet mené par la commission européenne, il s'agit d'une plateforme d'analyse de toutes les opérations (y compris le séquençage des pistes) connecté à divers outils de simulation, capable de mesurer les différentes métriques de performance aéroportuaire (capacité, sécurité, nuisances pour l'environnement).

## 1.4 OBJECTIFS

### 1.4.1 Cadre de travail

Le projet qui vient d'être décrit définit le général adapté aux travaux. Valeurs à décrire dans le chapitre suivant : changements attendus dans le système de contrôle (concept ASMGCS) permet de suivre le trafic en temps réel grâce à un système informatisé qui considère l'intégration d'outils automatisés impliqués dans l'optimisation du trafic avion. Les fonctionnalités de ces outils sont les suivants :

- **Le système est utilisé pour le contrôle de l'aéroport** : tous le trafic aérien peut connu (Notamment le trafic dans le secteur d'approche), mais l'optimisation ne passe que par les étapes des vols à l'aéroport, c'est -à -dire l'ordre des pistes, l'itinéraire de l'avion suivre la voie de circulation et entrer dans le parking.

- **Le système doit être prévisible** : il doit anticiper les problèmes éventuels afin d'aider manette. Pour cela, toutes les contraintes liées à la sécurité du flux doivent être connu du système (infrastructure aéroportuaire, règles de circulation, avions et intentions des compagnies aériennes).

- **La situation doit être considérée en temps réel** : l'état du système doit évoluer dynamiquement avec l'avion. Cela signifie que le temps pour étudier chaque situation est limité, et les informations disponibles sur les situations futures peuvent être incomplètes : ces concepts sont ainsi intégrés dans un cadre de rationalité limité [H.A. SIMON \[1992\]](#), qui permet une évaluation plus fine des solutions proposées.

- **L'objectif global d'optimisation** : doit caractériser la recherche d'une solution, le but n'est pas seulement d'assurer la séparation des aéronefs, mais aussi de proposer l'allocation d'un trafic efficace sur la plate-forme (maximiser le débit ou minimiser la latence).

### 1.4.2 Niveau de réalisme recherche

La définition d'un système de prévision peut se faire de manière plus ou moins macroscopique : l'analyse des données disponibles permet, sur ce point, de dégager les premières spécifications du modèle :

- La description détaillée des taxiways aéroportuaires permet d'envisager plusieurs possibilités de développement pour chaque avion, intégrant éventuellement certaines pratiques, respect des techniques opérationnelles telles que l'application de l'orientation et de la configuration prioritaires aéroport.

- La base du plan de vol journalier peut générer des conditions de trafic équivalent à la réalité (au moins en temps de débit) : cette étape de sa simulation est indispensable penser à l'évolution du système.

Dans ce cas, l'enregistrement de la trajectoire radar de l'avion s'avérera partielle particulièrement utile pour évaluer le réalisme des situations simulées.

### 1.4.3 Résolutions des situations

La solution pour chaque situation de circulation est de trouver la manœuvre requise imposées à l'avion (commandes de contrôle) pour optimiser globalement sa trajectoire, tout en respectant les règles de circulation. Différente approche peuvent être envisagée pour formuler strictement le problème d'optimisation à résoudre :

- **Une approche capacitaire** semble attractive, par exemple les éléments structurels des aéroports (piste, voie partielle, parking) sont représentés par un graphe orienté. Chaque élément (ou nœud) du graphe se voit attribuer une capacité et un modèle de file d'attente. Calculer le retard causé par le trafic aérien dans ce graphique. Dès que le problème est trouvé, ensuite on l'optimise avec un processus optimal qui minimise le retard causé. Ce problème combinatoire (concernant la taille du graphe et le nombre de plans) peut être résolu par programmation linéaire [D. STOICA \[2002\]](#).

# L'ORGANISATION GÉNÉRALE D'UNE PLATE-FORME AÉROPORTUAIRE ET LA CIRCULATION AU SOL

# 2

## 2.1 INTRODUCTION

La connaissance des infrastructures aéroportuaire et des procédures associées permet de mieux appréhender les flux de trafic au sol : l'objet de ce chapitre n'est pas de décrire en détail l'ensemble des équipements utilisables sur un aéroport, mais de donner un aperçu général des principales contraintes à l'infrastructure aéroportuaire et les conditions de circulation des aéronefs.

## 2.2 STRUCTURE D'UN AÉROPORT

L'efficacité maximale de l'aéroport n'est atteinte que dans l'équilibre entre les terminaux de transfert et de fret (zone publique), d'autre part le système de pistes, le système de stationnement et les zones de maintenance des avions (zone réservé). Ces différents éléments fonctionnels sont reliés par un réseau de taxiways. Ainsi, le réseau de voies de circulation constitue le support des échanges physiques entre les différents sous-systèmes de la plateforme aéroportuaire et les opérations efficaces et nécessaires à une utilisation optimale de la plateforme aéroportuaire.

### 2.2.1 Définition

— **Aéroport :**

Une zone déterminée sur terre ou sur l'eau (y compris les bâtiments, installations et équipements le cas échéant) destinée à être utilisée en tout ou en partie pour l'arrivée, le départ et le mouvement des aéronefs au sol.

— **Aire d'atterrissage :**

Partie de l'aire de sports utilisée pour l'atterrissage et le décollage des avions.

— **Aire de manœuvre :**

La partie de l'aéroport utilisée pour le décollage, l'atterrissage et la circulation des aéronefs au sol, à l'exclusion de l'aire de trafic.

— **Zone de trafic :**

Zone délimitée sur un aéroport terrestre destinée à être utilisée par les aéronefs lors de l'embarquement ou du débarquement des passagers, de la manutention du courrier ou du fret, le ravitaillement en carburant, le stationnement ou de la maintenance.

— **Aire de mouvement :**

La partie de l'aéroport utilisée pour le décollage, l'atterrissage et le mouvement des aéronefs au sol, y compris l'aire de manœuvre et l'aire de trafic.

### 2.2.2 L'organisation générale d'une plateforme aéroportuaire

La « coté piste » d'un aéroport peut se résumer une grande boucle dont les nœuds sont constitués de pistes et traversent des aires de stationnement avions (piliers). Certes, ce niveau de représentation est insuffisant pour l'analyse des problèmes opérationnels liés au mouvement des aéronefs au sol, mais il met en évidence le traitement cyclique des flux d'aéronefs l'empruntant par les plates-formes aéroportuaires.

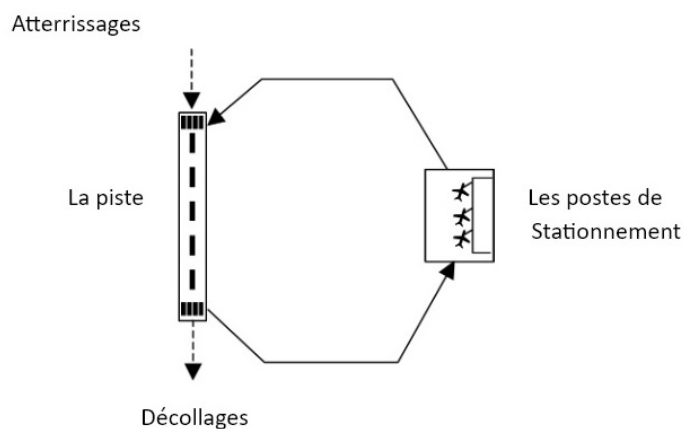


FIGURE 2.1 – Représentation macroscopique globale des flux aéroportuaires

Il existe trois catégories principales : les arrivées les départs et les transferts d'une gare à l'autre. Si à moyen terme, les deux premiers types de mouvements tendent à s'équilibrer en volume, le troisième type reste marginal sur de nombreux aéroports. Au niveau organisationnel et opérationnel, différentes aires de circulation peuvent être identifiées :

les zones des pistes (runways).

la zone des voies de circulation (taxiways).

les zones des rampes associées à des zones de poste de stationnement (apron et parking).

Chaque de ces zones a des règles de fonctionnement spécifiques qui peuvent être directement supervisées par différents contrôleurs. Il est important de noter que sur un grand aéroport, plusieurs pistes et aires de stationnement

peuvent coexister avec des voies de circulation, généralement pour assurer la connectivité et l'accessibilité la taille.

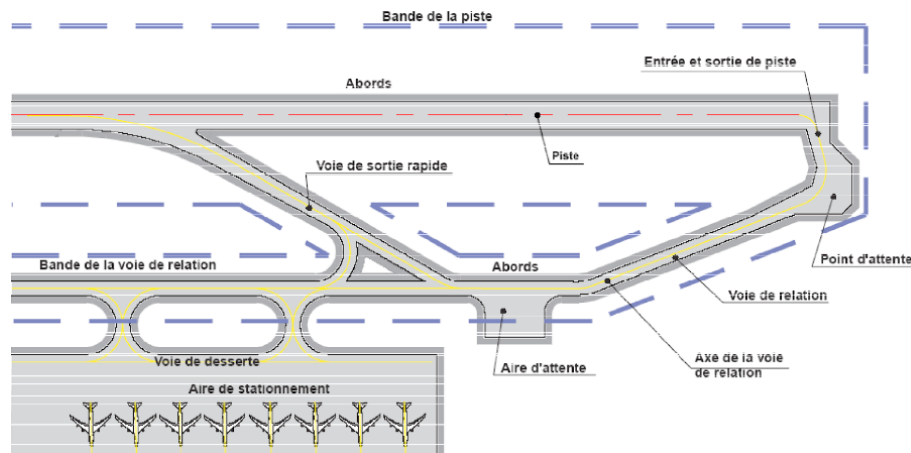


FIGURE 2.2 – Les zones du système aéroportuaire

Des pistes est souvent l'élément le plus critique lors de la définition ou de la redéfinition des plates-formes aéroportuaires, leur disposition affecte non seulement l'emplacement et la taille des terminaux individuels, mais également la disposition et l'extension des voies de circulation. Sur plusieurs décennies, à mesure que le trafic augmente, les possibilités de réorganisation deviennent généralement de plus en plus limitées compte tenu de l'espace limité disponible et des contraintes d'accessibilité et environnementales à chaque fois plus rigides compte tenu de la tendance général à la densification de l'occupation des espaces au voisinage des aéroports.

Les principaux éléments constitutifs « coté piste » de la plateforme aéroportuaire sont : les aires de stationnement, les voies de circulation et les pistes.

### - Les aires de stationnement

L'aire de stationnement est la zone de la plateforme aéroportuaire qui sert à recevoir les avions lors de l'embarquement ou du débarquement en allé, à la poste ou au fret lors de l'avitaillement, et à se garer pour la maintenance lors des pauses. Plusieurs types de places de stationnement peuvent être distingués : des aires de stationnement pour terminaux passagers et fret, pour la maintenance, pour les garages, pour l'aviation générale basée sur cette plate-forme et pour le stationnement temporaire des avions de passage.

Les aires de stationnement pour le stationnement des avions en dehors des périodes d'escale et les aires de ravitaillement pour les opérations ne sont en aucun cas un facteur limitant de la capacité aéroportuaire à montrer que les zones de trafic passagers et fret peuvent représenter le facteur de saturation d'un aéroport.

Les gestionnaires doivent vérifier que le nombre de places de stationnement et leur agencement correspondent au volume et à la nature du trafic attendu (taille de l'avion) en particulier aux heures de pointe. Les contraintes

de capacité dues à un nombre insuffisant d'emplacement conduisent souvent à l'utilisation d'emplacements éloignés qui sont inconfortables pour les passagers et nuisent compagnies aériennes.

Le trafic aérien dans l'aire de manœuvre de stationnement peut parfois être un facteur limitant pour la capacité de la voie de circulation.

Ce type de problème survient principalement dans les aéroports bondés et à fort trafic. Le mouvement d'un aéronef stationné en piqué peut gêner le mouvement d'autres aéronefs vers ou hors de sa position. Les conflits aux heures de pointe ont un impact immédiat.

Des simulations au cas par cas et pas à pas des mouvements de tous les équipements susceptibles d'emprunter l'aire de stationnement aux heures de pointe permettent de valider simultanément la configuration de stationnement et les procédures de stationnement opérationnelles. La configuration du parking est étroitement liée au concept de terminaux passagers et fret. Par exemple, on peut considérer la configuration suivant :

- Un système simple pour les aéroports à faible trafic, où les avions sont stationnés en diagonale afin qu'ils puissent entrer et sortir par eux-mêmes, mais vous devez tenir compte des explosions de moteurs.

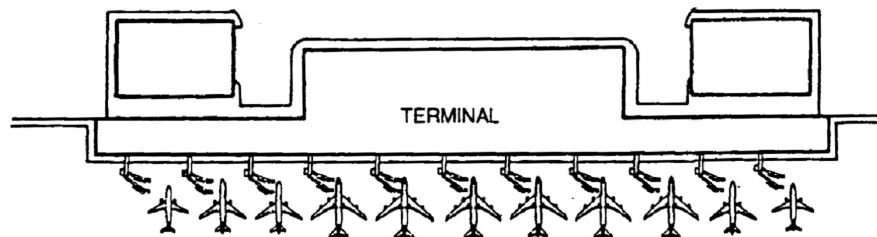


FIGURE 2.3 – Système simple

- Les systèmes linéaires, qui peuvent être considérés comme une étape évolutive de configuration simple.

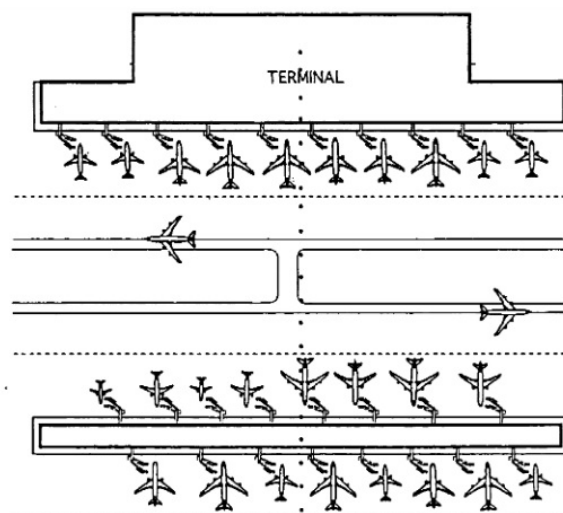


FIGURE 2.4 – Systèmes linéaires

- Le système à jetées, avec plusieurs variantes, ou l'avion peut se stationner au niveau de postes, dans le cas de jetées multiples, il est nécessaire de prévoir suffisamment d'espace pour éviter les conflits et pouvoir s'adapter aux exigences des avions plus grandes dimensions.

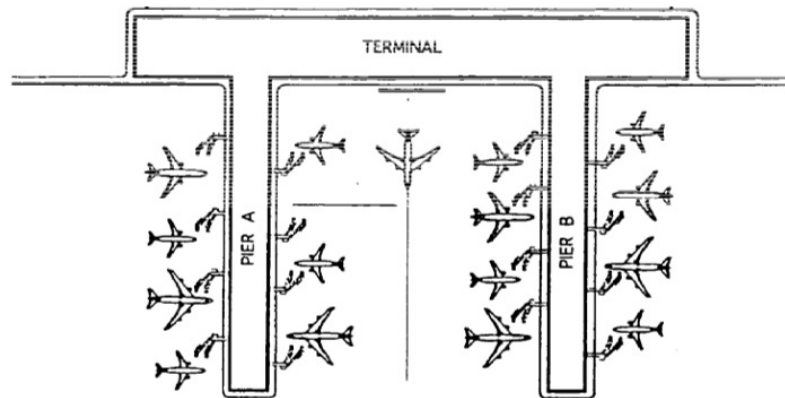


FIGURE 2.5 – Systèmes à jetées

- Le système satellitaire est constitué d'unités satellites séparées de l'aérogare et entourées de places de stationnement avions, avec accès passagers par des passages souterrains ou aériens. Ce type de concept ne se prête pas à un développement ultérieur.

- Les systèmes de transferts ou les systèmes à distance sont les mieux adaptés aux opérations aériennes, mais doivent transporter l'équipage, les passagers, les bagages et le fret sur des distances qui peuvent être des itinéraires relativement longs ou encombrés, et peuvent donc entraîner des retards supplémentaires.

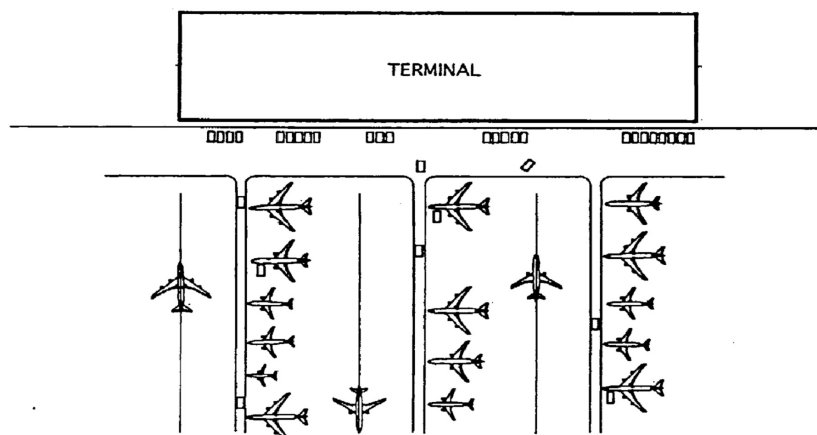


FIGURE 2.6 – Système à transbordement

- Système hybride, qui représente une combinaison des deux systèmes ci-dessus, ce qui est la pratique la plus courante dans les grands aéroports.

### - Les aires trafic (apron)

Une aire de circulation ou aire de trafic est l'aire de liaison entre une place de stationnement et une voie de circulation, et parfois incluse dans cette

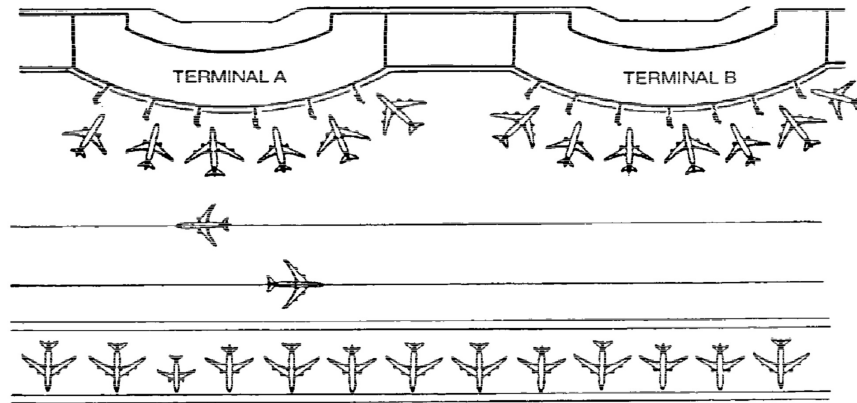


FIGURE 2.7 – Système hybride

dernière. Dans certains aéroports, selon leur infrastructure, cette zone peut ne pas exister. Un exemple typique d'utilisation de tabliers est un poste de stationnement avec un système à jetée.

La zone ne permet pas à deux avions de passer dans des directions opposées et des restrictions de circulation doivent être introduites. Ainsi, général, pour éviter les conflits, l'aéronef non prioritaire doit attendre sur la voie de circulation et laisser passer l'aéronef prioritaire dans la zone de trafic. Zones d'apron et zones tampons pour les allées et les places de stationnement. La présence du tarmac évite le blocage de circulation sur les voies de circulation voisines.

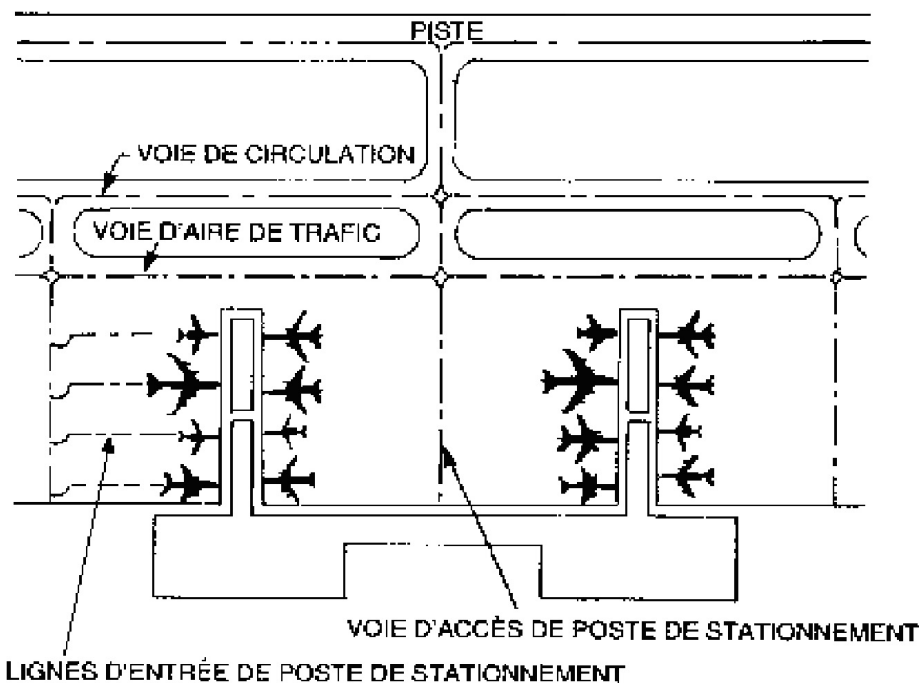


FIGURE 2.8 – Les zones d'apron ou aires de trafic

#### - Les voies de circulation

En général, l'expérience a montré que les voies de circulation peuvent être un élément critique de la capacité du système aéroportuaire.

Face à une forte demande de trafic, le manque de voies de circulation ou des réseaux complexes de circulation conduisent à cette situation :

- C'est le cas d'un aéroport avec une seule piste et aucun trafic parallèle en vue. Ensuite, il n'y a généralement qu'une seule entrée et une seule sortie. Le taxiway relie la voie à l'unité terminale et est alors unique, des blocages peuvent survenir lors de l'atterrissage après le décollage. Ensuite, le retard induit est égal au temps de parcours de cette seule voie pour la dégager.

- C'est le cas des aéroports dotés de plusieurs pistes et de réseaux de voies de circulation complexes, ce qui entraîne des intersections de pistes et de multiples intersections de voies de circulation. Les franchissements de piste sont effectués par des avions revenant sur la piste de décollage ou par des avions venant d'atterrir. Aux intersections de voies, des conflits surviennent entre les avions à l'arrivée et au départ.

Certains principes généraux de conception des réseaux de voies de circulation peuvent être illustrés :

- le système de voies reliant les différents éléments de la plate-forme doit être le plus court possible pour réduire la durée et les coûts liés au roulage au sol.

- Il doit être le plus simple possible pour éviter aux contrôleurs sol d'avions à donner des consignes complexes et simplifier la tâche du pilote.

- Pour des raisons de sécurité, les intersections de pistes et de voies de circulation doivent être évitées autant que possible et pour réduire la possibilité de retards dans les voies de circulation (conflits, formation des files d'attente).

- Les routes de voies de circulation devraient inclure autant de segments à sens unique que possible afin de réduire les conflits avec d'autres avions et les retards correspondants. Le trafic sur chaque segment de route doit être analysé pour chaque configuration dans laquelle la voie sera utilisée.

Afin de limiter le niveau d'investissement dans la mise en œuvre, le réseau de voies de circulation de l'aéroport présente généralement un niveau de développement qui répond aux besoins de capacité à court terme. Une bonne conception globale doit pouvoir introduire progressivement des éléments supplémentaires à mesure que la demande augmente.

Les voies de circulation sont strictement balisées et les réglementations internationales exigent des autorités aéroportuaires qu'elles signalent et marquent les voies de circulation. Les moyens de signalisation sont très divers :

Panneaux lumineux, réflecteurs, balises, barres d'arrêt, éclairage et autres systèmes mobiles. Les marquages sont réalisés avec de la peinture réfléchissante, et peuvent être axiaux ou latéraux.

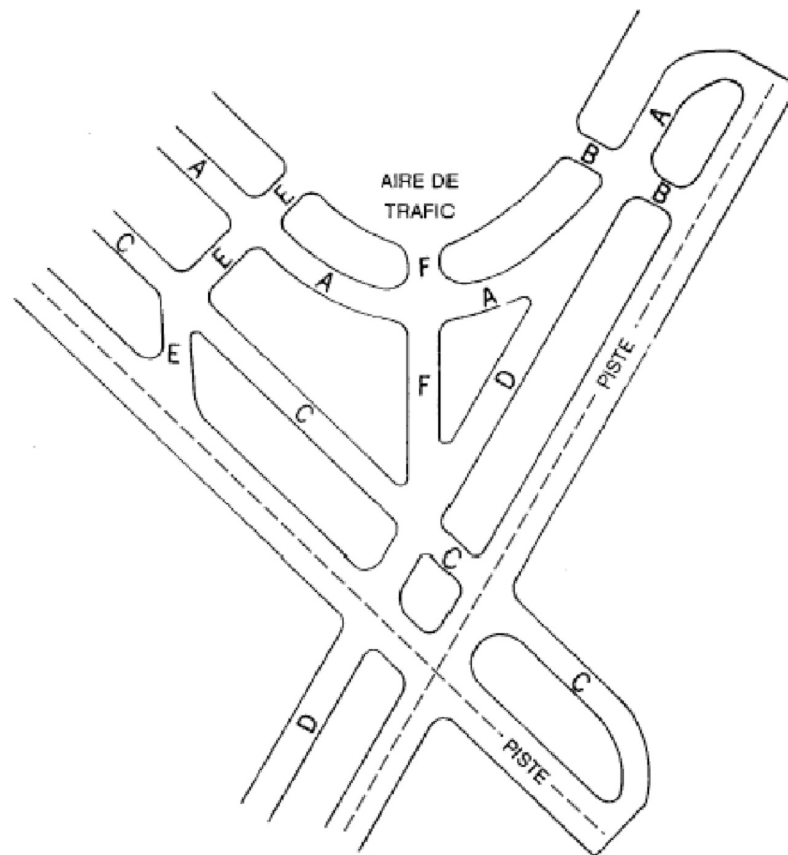


FIGURE 2.9 – Réseau de voies de circulation

### - Les pistes

Le système de pistes est la composante majeure d'un aéroport. Les pistes sont une ressource importante et leur planification doit tenir compte de la direction des vents, de l'estimation de la demande de trafic, de l'implantation actuelle et future, des riverains, des conditions géologiques etc.....

## 2.3 PROBLÈME OPÉRATIONNEL DE LA CIRCULATION AU SOL DES AVIONS

Il existe une tendance à confondre les dangers avec leurs conséquences. Lorsque cela se produit, la description du danger en temps opérationnels reflète les conséquences, et non le danger lui-même. En d'autres termes, il n'est pas rare de décrire le danger comme une conséquence.

L'énoncé et la désignation d'un danger comme l'une de ses conséquences peuvent obscurcir la véritable nature du danger et son potentiel destructeur, mais cela peut également compromettre l'identification d'autres conséquences importantes du danger.

D'un autre côté, énoncer et nommer correctement un danger peut identifier sa nature et sa capacité destructrice potentielle, en déduire correctement sa

source ou son mécanisme et, surtout, évaluer le résultat en temps de potentiel de dommages, qui est l'un des objectifs ultimes de la gestion des risques de sécurité.

Les aléas peuvent être divisés en trois catégories : les aléas naturels, les aléas techniques et les aléas économiques.

### 2.3.1 Les problèmes liés à la météorologie

Les conditions météorologiques jouent un rôle important dans le bon déroulement des opérations de la plate-forme aéroportuaire.

Trois facteurs principaux créent des problèmes pour transport terrestre : les vents de traversiers, les précipitations et la visibilité.

- La vente croisée affecte les atterrissages et les décollages. Les services météorologiques d'aéroport doivent informer les utilisateurs de la direction et de l'intensité des vents croisés.
- Les précipitations modifient l'adhérence des pneus, affectant directement la sécurité et la maniabilité de l'avion. Les opérations sur la plate-forme aéroportuaire se déroulent à des niveaux limités par la pluie. Tout déplacement au-delà de cette limite sera interdit. Les précipitations peuvent prendre la forme de pluie, de neige, de glace, etc. La formation de glace pose des problèmes particuliers lors du décollage. Pour éviter le givrage et les dépôts sur les ailes des avions, des zones de dégivrage ont été aménagées sur le tarmac de certains aéroports.
- Les conditions de visibilité affectent la fluidité du trafic. Le contrôle du trafic des plates-formes aéroportuaire continue d'appliquer les règles du « vu ». Les conditions de visibilité sont divisées en quatre niveaux. En ce qui concerne les manœuvres d'atterrissage, notamment d'atterrissages automatique, les conditions de visibilité peuvent être divisées en :
  - CAT I : visibilité supérieur à 800m
  - CAT II : la visibilité est inférieure à 800m et supérieure à 400m, à partir de ce niveau, des procédures particulières sont appliquées pour gérer le mouvement de l'avion au sol
  - CAT IIIA : visibilité inférieur à 400m, supérieur à 200m
  - CAT IIIB : visibilité inférieur à 200m et supérieur à 50m
  - CAT IIIC : visibilité inférieur à 50m

### 2.3.2 Les problèmes liés aux performances des avions

Les performances des avions au sol se traduisent principalement par :

- Vitesses de décollage et d'atterrissage et temps d'occupation de la piste (Départ en fait du poids de l'avion et des conditions météorologiques)

- La vitesse à laquelle l'avion se déplace sur la voie de circulation (typiquement 20 nœuds)

- Temps et distances de freinage et d'accélération standard
- Rayon de braquage minimal
- Vitesse de virage maximale
- Taille de l'avion (envergure et longueur) ou position de roulage et de stationnement
- Manœuvrabilité autonome des places de stationnement
- Compatibilité avec les méthodes de marche /arrêt des passagers et du fret.

### 2.3.3 Résolution des problèmes

Pour éviter les problèmes liés au trafic aérien, l'agence Nationale de la Navigation aérienne impose le respect de certaines règles :

#### - Fonctionnements d'aéronefs :

Toute mise en marche, installation ou départ doit être dirigé par du personnel au sol qualifié qui doit s'assurer au préalable :

- . Suivre toutes les consignes de sécurité émises par l'opérateur.
- . Les zones couvertes par ces exercices sont libres de tout obstacle.
- . Les faux anticollisions de l'avion doivent être allumés avant le démarrage et pendant que le moteur tourne.
- . Si le contact avec la tour de contrôle n'est pas établi, le suivi jour et nuit de l'avion n'est pas possible.

#### - Fonctionnement des véhicules :

- . Les conducteurs doivent respecter les règles générales de circulation établies par le code de la route
- . Pas de stationnement sur les sentiers
- . Ne pas circuler en dehors du chemin
- . L'avion a toujours priorité sur tout autre mouvement
- . Ne coupez pas la route vers l'avion
- . Les voitures particulières ont priorité sur les autres véhicules
- . La conduite sous les ailes est strictement interdite

. Effectuer la marche arrière uniquement sur le tarmac guidé par le personnel au sol

## 2.4 L'ENJEU DU CONTRÔLE DE TRAFIC AVION AU SOL

Les contrôleurs des grands aéroports ont eu du mal à maîtriser la situation, qui s'est avérée cruciale face à l'augmentation du trafic et à la multiplication des mouvements simultanés d'avions au sol.

Les contrôleurs recueillent les informations nécessaires à partir des observations et des rapports météorologiques, des rapports des pilotes et des observations visuelles ou radar des aéronefs, des pistes, des voies de circulation et du trafic au sol. Il traite et combine ses informations et prend des décisions. Il traite et combine ses informations et prend des décisions. Ils communiquent par radia aux pilotes les instructions nécessaires pour mettre la décision en pratique.

Le pilote et le contrôleur forment un contrôle en boucle fermée tout au long des phases d'atterrissage et de roulage jusqu'au stationnement de l'avion. Dans ce système, toutes les données et informations sont perçues (par des moyens visuels et audio) par des opérateurs humains, traitées par des opérateurs humains et traduites en action par des opérateurs humains. Ce type de contrôle ne suffira plus à l'avenir.

## 2.5 CONCLUSION

Si au niveau macroscopique, une plateforme aéroportuaire peut être appréhendée comme un service qui gère le flux d'avion à l'arrivée, le réinjecte dans le trafic aérien, se connecte à d'autres plateformes aéroportuaires, si on augmente le degré d'analyse, on se rend vite compte de la diversité des situations et la configuration existante est très différente de la complexité de la structure du trafic au sol. Face à une telle diversité, il est difficile de développer une conception générale de la gestion du trafic au sol qui s'applique à toutes ces situations.

# LA CAPACITÉ AÉROPORTUAIRE

# 3

## 3.1 INTRODUCTION

La croissance continue du trafic aérien commercial depuis la fin des années 1980 a créé un divers problème avec les aéroports qui devraient survenir à court ou moyen terme les infrastructures sont saturées. Cette situation a conduit à plusieurs le concept d'influencer les décisions d'investissement. Parmi ces concepts, celui que nous étudierons ici est celui de culpabilité. La capacité aéroportuaire est une aide à la décision pour la planification des infrastructures et la coordination aéroportuaire.

## 3.2 GÉNÉRALITÉS SUR LA CAPACITÉ AÉROPORTUAIRE

La capacité aéroportuaire est le maillon le plus faible de la chaîne aéroportuaire. Les compétences doivent donc faire l'objet d'une analyse complète de tous les maillons de cette chaîne, à savoir : Espace aérien terminal, système de pistes, voies de circulation, aires de stationnement des avions.

### 3.2.1 Définition de la capacité

#### **Définition générale de la capacité :**

La capacité aéroportuaire est le nombre de demandes qu'un ensemble d'installation aéroportuaire peut traiter dans un laps de temps donné, compte tenu de la nature et du volume des offres proposées.

#### **A. La capacité déclarée :**

Il fixe le flux de trafic maximal qu'un aéroport peut accepter, en tenant compte de tous les éléments de la chaîne aéroportuaire ainsi que de certaines contraintes externes (principalement la protection des riverains et les perturbations du trafic d'un autre aéroport). Est la valeur représentant la destination affichée par l'aéroport. La capacité déclarée est fixée par l'autorité aéroportuaire et doit être inférieure ou égale à la capacité technique.

#### **B. La capacité technique :**

C'est le nombre de demandes qui peuvent être traitées sur une période de temps en utilisant une infrastructure donnée, en respectant la réglementation et en tenant compte des restrictions et des exigences de ponctualité des vols. Ces demandes peuvent également correspondre à certains mouvements sur la voie, comme l'occupation de places de stationnement, ou encore l'utilisation d'aires de dégivrage. Selon le problème à résoudre, La durée choisie peut varier de quelques minutes à plusieurs années. La détermination de la capacité technique dépend :

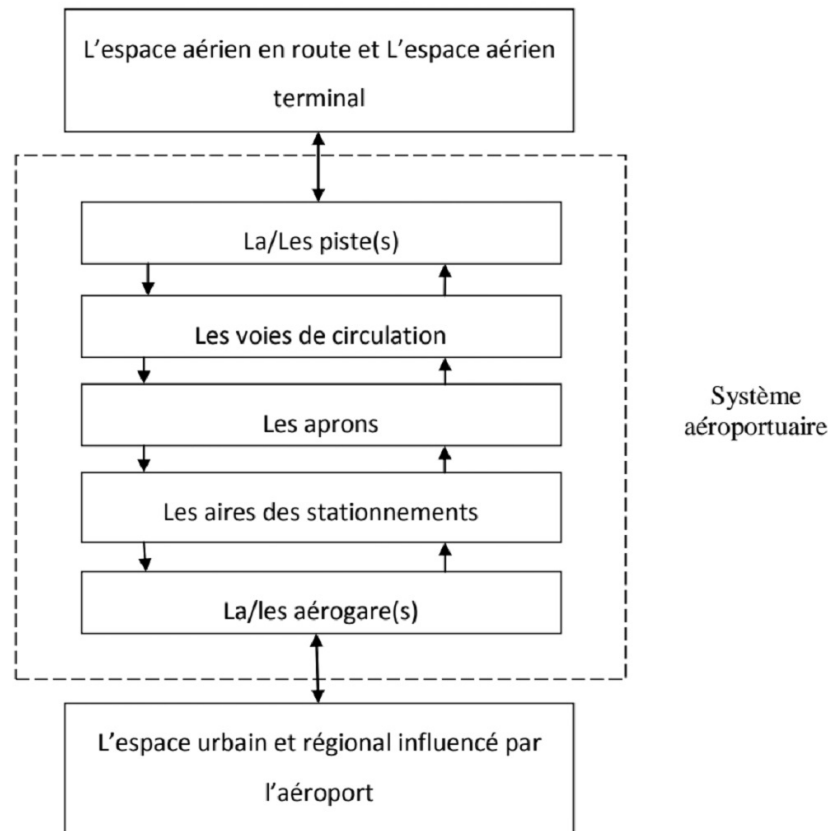


FIGURE 3.1 – *Système aéroportuaire*

- Une pointe de trafic donnée caractérisée par sa durée et sa structure (type d'arrivée/départ mixte d'avions).
- La pratique d'utilisation du système de piste, qui dépend de la qualité de son alimentation électrique, des marges de sécurité.
- Niveau de qualité de service acceptable par l'opérateur (retard moyen des vols).

La capacité d'un système aéroportuaire est déterminée par la capacité de chacun de ses sous- systèmes : stands, taxiways et pistes. Le lien entre la capacité de chaque sous-système dépend non seulement de la configuration de ces interfaces, mais aussi des pratiques opérationnelles mises en œuvre, et il n'existe pas de formule unique pour calculer la capacité globale d'un

système de terrain.

En règle générale, il est considéré que la capacité pratique du système aéroportuaire est donnée par la capacité technique de la composante qui paraît la plus critiquée (théorème de Ford et Fulkerson) [R. \[1961\]](#).

### 3.2.2 Capacité du système de voie

Le système de piste est souvent le facteur limitant de la capacité aéroportuaire car il a une fonction particulière : permettre aux avions d'atterrir et de décoller en toute sécurité. Sa capacité tient compte de trois facteurs principaux :

- Structure du trafic aérien.
- Gestion du trafic pour les services de navigation aérienne.
- Caractéristiques géométriques de l'infrastructure.

### 3.2.3 Facteurs influants sur la capacité du système des pistes

Le concept de capacité permet de quantifier les contraintes fournies par tout système et sera divisé en deux catégories :

L'une comprend les facteurs qui affectent la durée d'occupation d'un système et les facteurs qui affectent la fréquence d'occurrence d'un système.

#### a. Facteur qui a un impact sur le temps d'occupation du système

- L'infrastructure de l'aéroport est un facteur majeur affectant la capacité. Le système de voies (taille, nombre, tracé et équipement des voies) est souvent considéré comme le point le plus sensible, mais l'impact des autres aménagements ne peut être ignoré. La variété et l'aménagement de l'aire de trafic ou de la voie de circulation (taille, accessibilité, équipement) ont un impact important sur les temps de roulage et peuvent limiter certains types d'aéronefs.
- La composition du trafic est également le facteur le plus important. La classification d'un aéroport détermine la nature des vols autorisés en fonction de leur vitesse d'approche et de leur objectif (commercial, court-courrier ou long-courrier) ce qui détermine indirectement de l'aéroport, notamment l'aire en mouvement.

#### b. Facteur qui a un impact sur la fréquence d'apparition dans le système.

- Circulation (les règles de circulation doivent être respectées) peuvent être plus ou moins efficaces en termes de retards. A cet effet, les procédures d'exploitation des aires de trafic et des voies de décollage, les capacités techniques des contrôleurs et des équipages (connaissance de la plate-forme et des avions, enchaînement des actions et collaboration) peuvent jouer un rôle considérable.

- La répartition du trafic dans le temps affecte également l'efficacité avec laquelle le système le gère. Par conséquent, la capacité sera plus ou moins grande selon l'intervalle de temps correspondant au pic de l'activité.

Par ailleurs, d'autres facteurs extérieurs au système aéroportuaire peuvent également affecter les deux ensembles de facteurs. Ils sont entre :

- Enjeux environnementaux (écologie et gestion des nuisances sonores)
- Notamment la politique antiterroriste des douanes et de la police)
- Phénomènes météorologiques dangereux (orages, brouillard, grêle, neige)
- Stratégies d'autres aéroports et d'autres entreprises

### 3.3 ÉVALUATION DE LA CAPACITÉ AÉROPORTUAIRE

Déterminer la capacité du module de stockage n'est pas un gros problème. En revanche, il est plus difficile de déterminer la capacité du système aéroportuaire où se situent les flux de trafic, car la présentation de ces flux de trafic à l'entrée du système est aléatoire. Cependant, selon son importance, les conditions et le moment d'utilisation du système aéroportuaire varieront. A cette fin, le Portugal a développé plusieurs systèmes de calcul de capacité et proposera ses modèles théoriques pour calculer la capacité au champ.

#### 3.3.1 Modèle de détermination de la capacité aéroportuaire

La NASA a développé un modèle pour évaluer la capacité associée aux pistes d'aéroport. Le modèle est conçu pour estimer la capacité de l'aéroport en fonction des conditions météorologiques, des procédures de gestion du trafic, de la demande de trafic et des niveaux d'équipement de l'aéroport. La capacité est exprimée comme la frontière de Pareto des flux de départ et d'arrivée pour chaque période.

La durée de cette période peut varier de 15 à 60 minutes.

Cette limite est égale ou supérieure à la limite supérieure et les nombres de début et de fin ne peuvent pas être incrémentés en même temps.

#### **Le principe du modèle ASAS (Aviation System Analysis Capability) :**

Le modèle est basé sur la théorie des files d'attente, qui suppose que les arrivées sont aléatoires. Les paramètres du modèle comprennent les intervalles d'exploitation de la piste standard, le temps d'occupation des pistes, le temps de réponse du contrôleur de la circulation au sol et d'autres règles imposées pour l'exploitation dans des conditions de faible visibilité. Le modèle intègre les incertitudes sur la position et la vitesse de l'avion en vol pendant la phase d'approche finale.

Ces incertitudes affectent les marges utilisées pour les contraintes de séparation entre les aéronefs, et d'autres incertitudes prises en compte par le modèle

sont celles dues aux retards de communication et aux distributions de vitesse du vent. Utilisez le module estimation des retards pour évaluer la capacité des pistes, en particulier les retards d'arrivée.

### 3.4 CALCUL DE LA CAPACITÉ DES PISTES DE L'AÉROPORT D'ALGER (HOUARI BOUMEDIEN)

Nous avons choisi la formule proposée par la DGAC-STAC (Service technique de l'aviation civile) comme méthode de calcul de la capacité des pistes de l'aéroport d'Alger pour plusieurs raisons :

- Son efficacité et la disponibilité de tous les paramètres nécessaires.
- Le seul facteur à déterminer est le temps d'occupation de la piste pour les opérations d'atterrissage-décollage et de décollage-atterrissage.
- Difficultés mathématiques et techniques avec les méthodes (ASAC : Aviation System Analysis Capability) et les méthodes statistiques globales.
- Les éléments nécessaires à l'application des deux formules sont difficiles à obtenir même auprès des autorités aéroportuaires d'Alger.

Toutes ces raisons nous conduisent à choisir cette méthode, tout en respectant la fiabilité du calcul et l'efficacité des résultats donnés.

#### 3.4.1 Calcul du temps d'occupation de piste (TOP)

##### 3.4.1.1 Temps d'occupation de piste (atterrissage-décollage) :

L'autorisation de décollage ne peut être délivrée à un avion tant que celui le précède n'a pas franchi l'extrémité de la piste en service ou amorcé un virage

##### . Hypothèses :

Le temps d'occupation de la piste (TOP) au décollage et les données nécessaires à son calcul dépendent du type d'aéronef considéré.

Le temps que met l'avion pour passer de la vitesse  $V_1$  (en Kts (nœud)) à la vitesse  $V_2$  sur la distance  $D$  (en m) avec une accélération constante est :

$$T_1 = 4D / (V_1 + V_2) \quad (1)$$

Le temps mis par un avion pour parcourir une distance  $D$  (en m) à une vitesse  $V$  (en Kts) est :

$$T_2 = D / V \quad (2)$$

Le temps mis par un avion pour exécuter un virage après décollage :

$$T_3 = T_{dv} \quad (2')$$

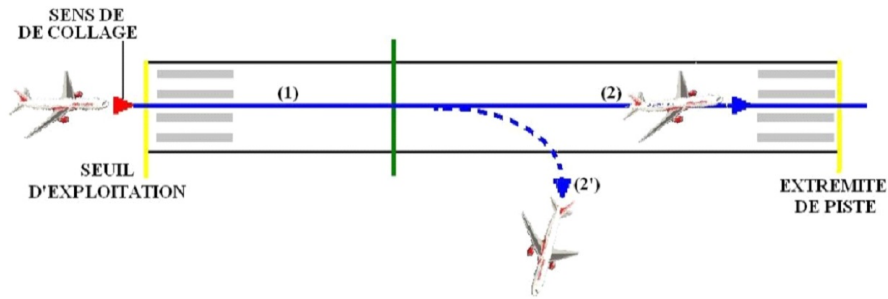


FIGURE 3.2 – Schéma de principe de calcul de TOP en cas de départ

avec :

**T<sub>dv</sub>** : Temps de dégagement en vol de l'axe de piste.

**- Formule numérique du TOP**

$$TOP = 4Dd/Vd + 2(L-Dd)/Vd \text{ ou : (Si décollage dans l'axe de piste)}$$

$$(1) \quad (2)$$

Avec :

**L** (en mètres) = longueur de piste.

**Dd** (en mètres) = distance de décollage.

**Vd** (en mètres) = Vitesse de décollage.

**3.4.1.2 Application numériques**

— **Décollage dans l'axe de piste :**

$$TOP = 4Dd/Vd + 2(L-Dd)/Vd$$

avec L = 3500 m

Type d'avion/ valeur	Dd (m)	Vd (Kts)	Top (s)
Type 1	800	100	86
Type 2	1500	130	77
Type 3	1800	160	66
Type 4	2500	170	71

TABLE 3.1 – Valeurs du TOP Si le décollage est dans l'axe de piste

**3.4.2 Calcul de la capacité**

La capacité, exprimée en mouvement d'avions par heure, représente le nombre maximal d'arrivé et de départ que le système de piste peut écouler en une heure.

Pour effectuer ce calcul nous allons progresser celant deux scénarios différents.

**3.4.3.1 Scénarios A**

Pour déterminer la capacité, on applique la formule proposée par la DGAC (Direction Générale de l’Aviation Civile) sur chaque piste indépendamment (piste 23-05, piste 27-09).

La journée type est la journée la plus dense en trafic que l’aérodrome a pu connaître au cours d’une année. Les autorités aéroportuaires ont fourni le nombre maximum de mouvements dans une heure de pointe de chaque piste indépendamment pour l’année 2012.

Source : Utilisation des pistes, année 2012

piste/ Mouvement	Atterrissage	Décollage
23-05	03	09
27-09	03	08

TABLE 3.2 – Nombre des mouvements d’aéronefs dans une heure de pointe

**- Piste (23-05) :**

En analysant le tableau 3.2, on peut obtenir les informations suivantes :

- 12 mouvements pendant une heure, dont 09 mouvements de départ et 03 mouvements d’atterrissage.
- Proportion d’atterrissage sur décollage :  $P = 3/9$

Calcul de la capacité de la piste (23-05) :

Pour ce calcul on multiplie la fonction CH par 3600 afin de la convertir de mouvement par seconde en mouvement par heure. En utilisant les paramètres pénalisant du temps d’occupation de piste.

**tAA : 150 S ; TOPATT : 67 S ; TOPDEC : 86 S ; tDD : 90 S**

Où :

- CH La capacité horaire (nombre maximum d’avions par heure qui peuvent être servis par la piste).
- tAA (respectivement tDD) est le temps moyen d’occupation de la piste pour une opération atterrissage-atterrissage, (respectivement décollage-décollage).

Les valeurs standards relatives à la formule sont :

-  $60s < tAA < 150s$

-  $50s < tDD < 90s$

- Et pour la Capacité Horaire (CH) doit être comprise entre 10 et 30 mouvements par heure.

$$CH = \frac{3600}{tAA + (TOPATT + TOPDEC) + tDD}$$

**CH type4 =10 mvt /h**

	Piste /Mouvement	Atterrissage	Décollage
configuration 01	09/27	09	
	05/23		05
configuration 02	09/27		27
	05/23	23	

TABLE 3.3 – Utilisation des pistes d'aéroport d'Alger

**- Piste (27-09) :**

En analysant le tableau 3.2, on peut obtenir les informations suivantes :

- 11 mouvements pendant une heure, dont 08 mouvements de départ et 03 mouvements d'atterrissage.
- Proportion d'atterrissage sur décollage :  $P = 3/8$

Calcul de la capacité de la piste (27-09) :

Pour ce calcul on multiplie la fonction CH par 3600 afin de la convertir de mouvement par seconde en mouvement par heure. En utilisant les paramètres pénalisant du temps d'occupation de piste.

**tAA : 150 S ; TOPATT : 75 S ; TOPDEC : 86 S ; tDD : 90 S**

$$CH = \frac{3600}{tAA + (TOPATT + TOPDEC) + tDD}$$

**CH type4 = 9 mvt /h**

**3.4.3.1 Scenarios B**

L'aéroport d'Alger « Houari Boumediene » est desservi par deux pistes qui ont la même longueur de 3500 m :

- 05 / 23 « Piste principale »
- 09 / 27 « Piste secondaire »

Chaque piste peut être utilisée pour un décollage ou un atterrissage. Comme à l'aéroport d'Alger il y a 2 pistes, on combine entre les deux ; c'est-à-dire la principale est utilisée pour les décollages alors que la secondaire est utilisée pour les atterrissages.

**Exemple :**

Lorsque le QFU 23 est utilisé pour les atterrissages, le QFU 27 est utilisé pour les décollages.

On ne peut jamais combiner entre deux opérations pour les pistes 23-05 et 27-09 à la fois, car les procédures d'approche ne le permettent pas dans le cas

d'une remise des gaz à l'extrémité de la piste d'atterrissage.

Donc on va calculer la capacité du système aéroportuaire ou les décollages sont effectués dans une piste et les atterrissages dans l'autre piste.

Les autorités aéroportuaires ont fourni le nombre maximum de mouvements dans une heure de pointe de chaque piste indépendamment Pour l'année 2012. Ou il y 05 atterrissage et 10 décollage.

- Proportion d'atterrissage sur décollage :  $P = 0,5$

Calcul de la capacité de piste :

Pour ce calcul on multiplie la fonction CH par 3600 afin de la convertir de mouvement par seconde en mouvement par heure. En utilisant les paramètres pénalisant du temps d'occupation de piste.

$t_{AA} : 150 \text{ S} ; TOPATT : 75 \text{ S} ; TOPDEC : 86 \text{ S} ; t_{DD} : 90 \text{ S}$

$$CH = \frac{3600}{t_{AA} + (TOPATT + TOPDEC) + t_{DD}}$$

$CH \text{ type4} = 8 \text{ mvt /h}$

Durant la période de stages qui a été effectué au sein de la DSA, Ils ont pu assister aux contrôleurs ou ils ont pris durant une heure de pointe les données qui apparaissent dans le Tableau 3.3. On a remarqué que les atterrissages sont effectués dans la piste 09 et les décollages sont effectués dans la piste 05.

Catégorie	poids de roulage (Kg)	Type	ARR	DEP
A321	93500	3	0	1
A320	73500	3	0	1
A319	70000	3	0	2
B737	45000	3	4	3
A332	22300	4	1	0
ATR 72	22000	2	1	3
DH8D	17190	2	0	1
JET		2	0	1

TABLE 3.4 – Le départ et l'arrivée des aéronefs pendant 1h

En analysant le tableau 3.3, on peut obtenir les informations suivantes :

- 18 mouvements pendant une heure, dont 12 mvt de départ et 6 d'atterrissage
- Proportion d'atterrissage sur décollage :  $P = 0,5$

### 3.5 CONCLUSION

Les résultats de ces deux scénarios présentent une similarité idéale. La différence du nombre de la capacité horaire maximale de l'aéroport d'Alger

entre le scenario A (38 mouvement par heure) et le scenario B (36 mouvements par heure) peut être expliqué par la perte du temps dans l'alignement de l'aéronef dans l'axe de piste, car dans le scenario A l'aéronef en départ n'aura pas l'autorisation de s'aligner dans l'axe de piste avant que l'aéronef en atterrissage dégage la piste. Par contre dans le scenario B, l'aéronef en départ peut avoir l'autorisation de s'aligner sur l'axe de piste pendant que l'aéronef en arriver entame son atterrissage.

Les résultats montrent que la capacité horaire maximale des pistes est de 36 mouvements par heure. Les valeurs déclarées par la DSA annoncent une capacité maximale moyenne de 25 mouvements par heure dans des bonnes conditions météorologiques.

Lors d'une congestion éventuelle de l'aéroport d'Alger, la capacité pistes opérationnelle peut être augmentée avec une bonne qualité de service, en minimisant le TOP.

Les résultats obtenus à l'issu de cette étude concernent la capacité piste. Ces résultats restent des valeurs théoriques supérieures à valeurs opérationnelles ou réelles.

# MODÉLISER L'ENSEMBLE DES PROBLÈMES DE GESTION DU TRAFIC ET RÉOLUTIONS

# 4

## 4.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, tous les problèmes de gestion rencontrés par les contrôleurs dans le cadre de la planification des opérations sont analysés de manière globale. Et quelques outils d'aide au contrôleur dans la gestion du trafic sont proposés.

Trois de ces problèmes sont analysés de manière précise

## 4.2 PROBLÈMES DE GESTION DU TRAFIC AU SOL

La gestion du trafic au sol des aéronefs implique la prise de décisions tactiques qui définissent le cadre opérationnel du contrôle du trafic au sol. Cela implique à la fois la gestion des ports et des départs. A partir des informations sur les conditions actuelles et les prévisions de trafic, il s'agit de définir ou de redéfinir les paramètres qui régulent le mouvement des aéronefs au sol. Pour la gestion des arrivées, les informations suivantes doivent être fournies pour chaque avion à l'arrivée :

- Planifier les pistes d'atterrissage et les heures d'atterrissage. Cette information est fournie par le système de contrôle du trafic aérien, qui se coordonne avec le système de gestion au sol pour fournir une solution en ligne au problème (problème G<sub>0</sub>). Sa précision, notamment en ce qui concerne le moment de l'atterrissage, dépend fortement de l'horizon de prévision.
- Le poste, ou la zone des postes de stationnement prévues, si la compagnie aérienne exploitant l'avion dispose de places de poste de stationnement et les gère, cette information peut être fournie par la compagnie aérienne exploitant l'avion, ou par le système de gestion du trafic au sol.

Il peut donc s'agir de sélectionner d'abord un poste (problème G<sub>1</sub>) puis de déterminer le trajet entre la sortie de piste et ce poste (problème G<sub>2</sub>). Le système de contrôle du trafic au sol sera alors chargé de guider progressivement

l'aéronef le long de cette route (problème C1).

Afin de gérer les départs, les informations suivantes doivent être fournies pour chaque avion au départ :

- Poste de stationnement
- Heure de départ prévue

Ces informations sont disponibles auprès des compagnies aériennes et doivent être intégrées au niveau de la gestion du trafic au sol. Les problèmes de décision à résoudre sont :

Pour chaque avion programmé au décollage, les sélections suivantes doivent être faites :

- Choix de la piste de décollage (problème G3),
- Choix du moment de quitter le poste de stationnement (question G4)
- Choix du trajet entre le poste de stationnement et la piste (question G5).

Le système de contrôle du trafic au sol sera alors chargé de guider progressivement l'aéronef le long de cette route (problème C2).

Tous ces problèmes présentent des interdépendances en raison du continuum entre certaines décisions et l'interaction des flux aux niveaux de la voie de circulation, du stationnement et de la piste. Ainsi, nous pouvons dresser le tableau suivant :

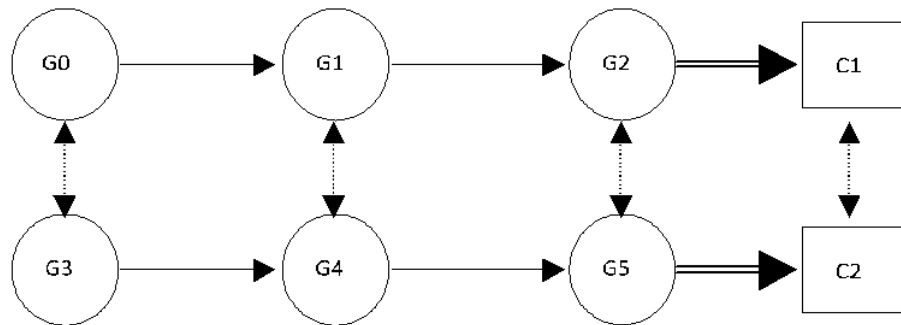


FIGURE 4.1 – Interdépendances entre problèmes de gestion et de contrôle du trafic au sol des aéronefs

Une autre dimension doit être examinée ici, il s'agit du temps : Les décisions doivent être prises suffisamment longtemps à l'avance pour être d'une utilité opérationnelle certaine (ceci permet de mettre en œuvre à temps les moyens logistiques appropriés). Néanmoins, ces prises de décision vont se baser sur des prévisions sur l'état du système et plus l'horizon des prévisions sera étendu, plus le degré d'incertitude sur celles-ci sera élevé.

Compte tenu de la diversité des problèmes de gestion à traiter et du nombre d'études qui leur a été consacré, dans le reste de ce chapitre un état de l'art concernant quelques un de ces problèmes G<sub>0</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub> et G<sub>5</sub> est présenté. Ces problèmes permettent de retenir pour l'ensemble des problèmes de gestion du trafic au sol des aéronefs, les principales approches de modélisation et de recherche de solution.

### 4.3 OUTILS AUTOMATISÉS DE GESTION DE TRAFIC

L'automatisation des services de la circulation aérienne peut être une solution aux problèmes abordés. Plusieurs tentatives d'automatisation totale du contrôle aérien ont eu lieu, mais aucune n'a pu aboutir à des solutions sûres. Par contre, quelques outils d'aide qui ont été développés fournissent des supports automatiques aux contrôleurs dans le but de réduire leur charge de travail et accroître la capacité du système ATM. Ces outils pourraient être adaptés à la gestion de l'aire de trafic.

Présentation de quelques outils existants qui aide la gestion au sol :

- SARIA : il fournit l'allocation des postes de stationnement et l'heure de sortie de l'aire de trafic en temps « semi-réel »
- MAESTRO : c'est un système d'aide à la régulation et à l'écoulement du trafic des vols à l'arrivée. Le concept de MAESTRO a été lancé en 1985. Il offre un outil de dialogue et de négociation pour la construction globale de la séquence de régulation. Cet outil permet de garantir une utilisation optimale des pistes à l'atterrissage.
- SMA (Surface Movement Advisor) : il améliore l'efficacité des opérations aéroportuaires. L'idée est d'améliorer le partage des informations entre les intervenants sur l'aéroport.  
Ses objectifs sont :
  - Optimiser l'utilisation des postes de stationnement
  - Rationaliser l'occupation des voies de circulation au départ
  - Alléger les communications vocales ;
  - Faciliter l'analyse des opérations aéroportuaires ;
  - Améliorer la programmation des équipages ;

### 4.4 L'ANALYSE DES PROBLÈMES DE GESTION DE TRAFIC AU SOL

Les problèmes de gestion qui se posent aux contrôleurs dans le cadre de la planification opérationnelle sont composés de deux parties :

- **Problèmes de gestion de trafic a l'arrivée :**

Problèmes (G<sub>0</sub>) : choix de piste et l'instant d'atterrissage  
 Problèmes (G<sub>1</sub>) : choix de poste de stationnement  
 Problèmes (G<sub>2</sub>) : détermination de l'itinéraire d'aéronef  
 (Piste - Poste de stationnement)

— **Problèmes de gestion de trafic au départ :**

Problèmes (G<sub>3</sub>) : choix de piste de décollage  
 Problèmes (G<sub>4</sub>) : choix de l'instant de sortie de poste de stationnement  
 Problèmes (G<sub>5</sub>) : détermination de l'itinéraire d'aéronef  
 (Poste de stationnement - Piste)

**4.4.1 L'analyse du problème (G<sub>0</sub>)**

Pour les aéroports à fort trafic, les problèmes d'horaires l'atterrissage est un problème clé car il détermine la capacité globale AÉROPORT.

Le but est d'analyser et de gérer l'atterrissage des avions arrivant à un certain endroit. Plates-formes aéroportuaires comportant une ou plusieurs pistes d'atterrissage meilleures conditions possibles Flux maximal d'avions accidentés vers l'aéroport et ses pistes.

Le problème (G<sub>0</sub>) se situe entre le trafic terrestre et le trafic aérien. Les questions suivantes se posent donc coordination entre les systèmes de gestion du trafic au sol et du trafic aérien. Pour cela il Outils nécessaires pour aider les contrôleurs aériens à gérer la transition entre routes et méthodes comme MAESTRO.

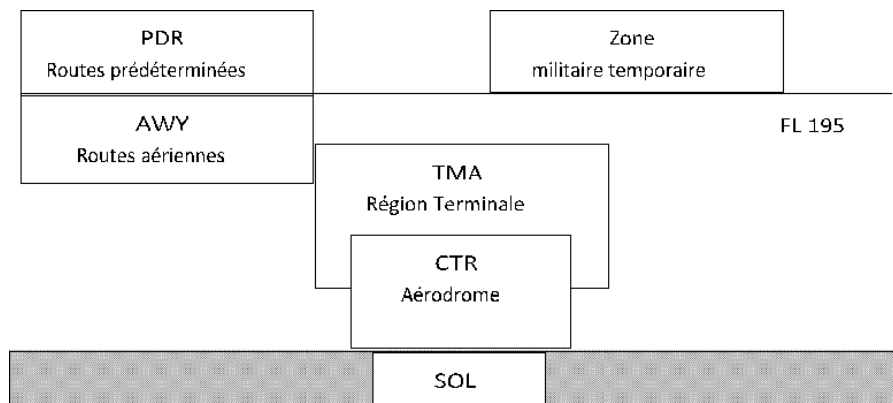


FIGURE 4.2 – Organisation de l'espace aérien

**4.4.1.1 Cas d'une seule piste d'atterrissage**

Si on considère le problème (G<sub>0</sub>) comme le problème de minimisation de la différence entre les deux.

Le moment d'atterrissage et le moment programmé sous les contraintes d'intervalle de temps et correspond au créneau d'atterrissage, vous n'avez

donc qu'à trouver le temps d'occupation La piste (TOP) est posée sur une seule piste, donc le problème est Facile.

Cas d'une seule piste d'atterrissage, Le temps d'occupation de la piste (TOP) à l'atterrissage est le temps entre les deux événements suivants :

- L'avion franchit le seuil de piste,
- L'avion quitte la piste et passe un point à 90 mètres de l'axe de piste (il dégage servitudes).

#### **4.4.1.2 Cas de deux pistes d'atterrissage**

En revanche, si l'on considère le problème des deux pistes d'atterrissage, son l'augmentation de la complexité est très forte.

Problèmes d'horaire à court terme (plus d'une demi-heure) Les avions atterrissent dans un aéroport avec deux pistes d'atterrissage en été considéré. C'est aussi optimiser le temps d'atterrissage de chaque avion planifiez des créneaux horaires en respectant autant que possible les heures d'atterrissage programme.

#### 4.4.2 L'analyse du problème (G1)

Le problème de la gestion des places de stationnement des avions est un problème cela comprend l'attribution d'un stand ou d'une aire de stationnement pour chaque avion à l'arrivée compatible avec ses caractéristiques opérationnelles et commerciales. Ce n'est pas juste pour répondre aux contraintes de séparation entre différents types d'avions les aires de manœuvre et les stands adjacents, mais supprime également toutes Situations de conflit potentiel avec d'autres aéronefs à l'arrivée et au départ cette zone.

Principaux types de conserves présentes dans les zones de manœuvre proches le stand est le suivant :

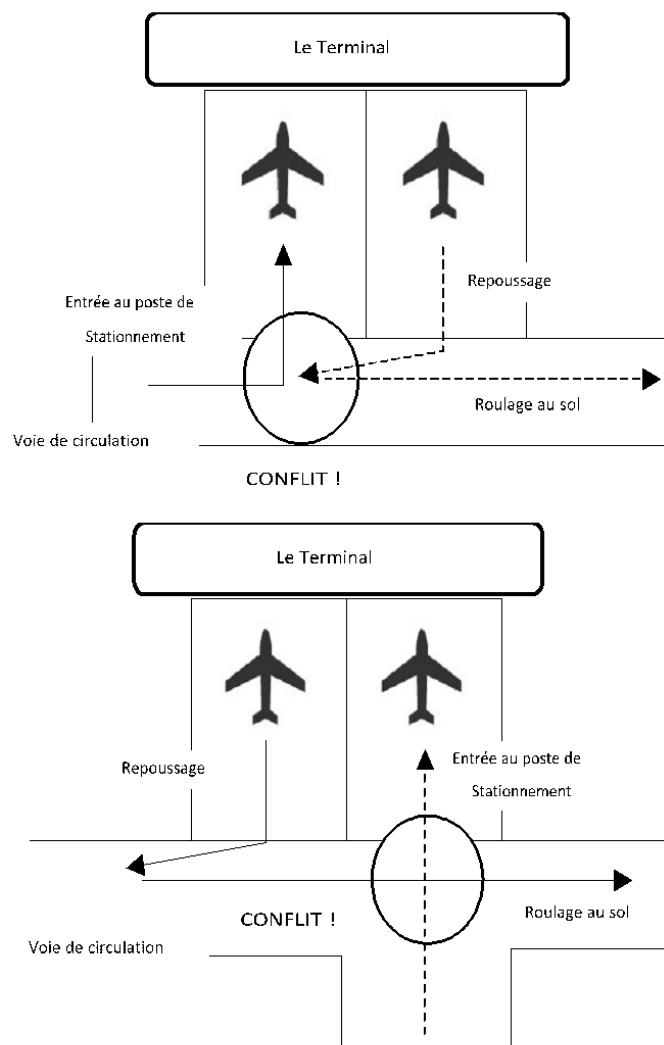
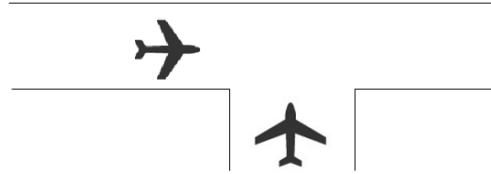


FIGURE 4.3 – Exemple de conflits entre avions dans la zone de stationnement

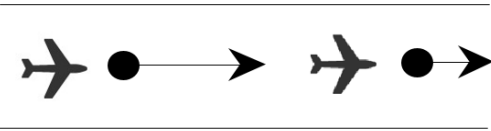
#### 4.4.3 L'analyse du problème (G5)

Le but est de définir pour chaque aéronef une trajectoire entre sa position de stationnement et la piste décoller.

**Conflit de croisement**



**Conflit de vitesse**



**Conflit frontal**



FIGURE 4.4 – Exemple de conflits entre avions dans la zone de stationnement

Différents critères permettent de comparer tous les chemins qui relient l'origine et la fin destination d'un voyage :

- La longueur du chemin
- La durée prévue (voyage et attentes intermédiaires)
- La complexité du chemin tant du point de vue du pilote que du Contrôleur

Le contrôleur ne peut pas choisir les trajectoires des différents avions présents sur la plate-forme formulaire d'aéroport indépendamment, il le fait simultanément sur un ensemble d'avions arrivés au départ des places de stationnement. En fait, tous les aéronefs vont interagir entre eux et avec ceux déjà présents dans les voies de circulation. Ce sera donc au contrôleur de réparer tous ces chemins en essayant de satisfaire globalement à l'un des critères mentionnés dans la section précédente en tenant compte des règles de séparation entre aéronefs et en évitant les situations conflictuelles.

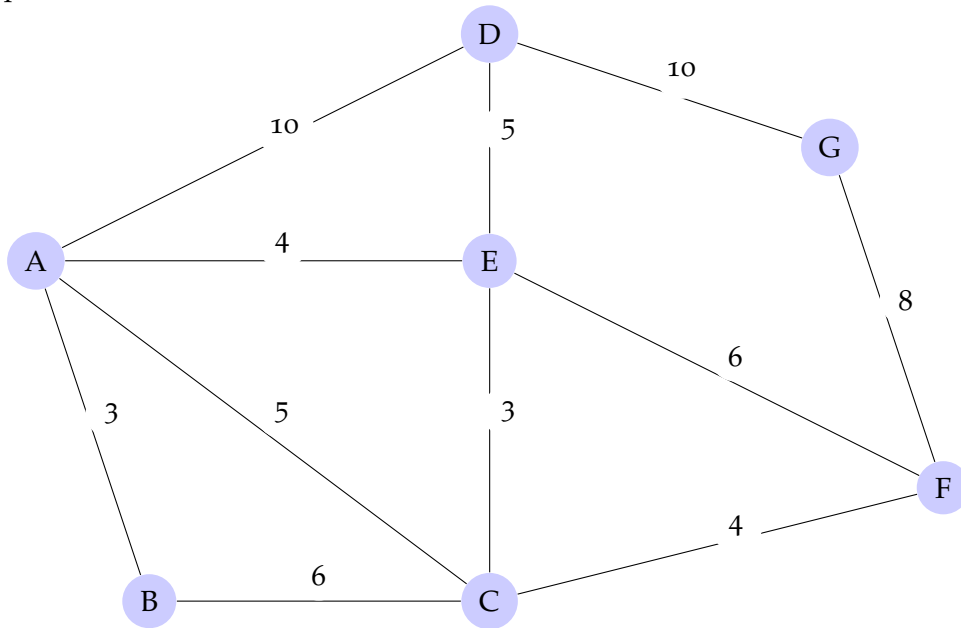
#### 4.5 CHOIX INDÉPENDANT DES CHEMINEMENTS (ALGORITHME DE DIJKSTRA)

Si l'on considère des groupes des chemins possédant un sommet extrême commun (sorties des piste-postes de stationnement ou postes de stationnement-entrée de piste), l'algorithme de Dijkstra [Edsger \[1959\]](#) donné ci-dessous, permet de calculer simultanément l'ensemble des chemins optimaux avec leur durée, puisqu'ici le sens de circulation n'a aucun effet sur le coût de déplacement :

Algorithme de Dijkstra

permet de trouver le plus court chemin d'un sommet donné vers tous les

autres sommets. Il n'est utilisable que pour les graphes à valuations non-négatives, ce qui implique qu'il n'y a pas de circuit de coût négatif dans le graphe.



Application de l'algorithme de Dijkstra

fixé	A	B	C	D	E	F	G
A	0A	3A	5A	10A	4A	inf	inf
B	x	3A	5A	10A	4A	inf	inf
E	x	x	5A	9E	4A	10E	inf
C	x	x	5A	9E	x	9C	inf
D	x	x	x	9E	x	9C	17G
F	x	x	x	x	x	9C	17F

D'après l'Algorithme de Dijkstra le chemin le plus court est : G - F - C - A

## 4.6 CONCLUSION

Pour les différents problèmes de décision considérés ici dans le cadre de la gestion des mouvements des avions sur les plateformes aéroportuaires, il s'agit en général de résoudre de façon nominale dans un environnement déterministe d'un problème d'ordonnancement des activités assignées à chaque avion au cours de ses manœuvres d'arrivée ou de départ. Malgré les nombreuses simplifications adoptées dans la formulation de ces problèmes, on se trouve en général face à des problèmes de classe de complexité (on fait référence ici à la théorie de la complexité algorithmique qui ne permet pas d'envisager l'obtention d'une solution mathématiquement exacte dans un temps garanti compatible avec le temps de réponse attendu dans le cadre de la planification opérationnelle (quelques minutes). Ceci a conduit au développement de méthodes heuristiques basées aussi bien sur une optimisation locale (méthodes gloutonnes) que sur une optimisation globale (algorithmes génétiques).

# Conclusion générale

La gestion du trafic des avions au sol apparaît donc comme un problème extrêmement complexe où la difficile équation sécurité et l'efficacité doit être résolue aussi sur le long, le moyen et le court terme. Cette problématique met en jeu des multiples acteurs venant contraindre de façon complexe l'espace décisionnel des gestionnaires du trafic au sol, ce qui semble se traduire par des structures complexes de gestion et de contrôle.

La sécurité et la régularité de l'écoulement du trafic ne sont pas les seuls soucis des services responsables de la circulation au sol des avions : la rapidité est plus que jamais à l'ordre du jour. Le temps que perdent les avions à circuler au sol parmi les moindres des voies de circulation et des files d'attente est considérable et il en résulte une saturation de système.

La meilleure utilisation des réseaux de voies de circulation et de certaines solutions réduisent le temps de conduite. On pourrait résoudre ces problèmes en gérant mieux le trafic piétonnier-avion au sol.

Cela nécessite certainement le développement de systèmes d'aide à la décision qui permettent d'améliorer voir optimiser la fluidité du trafic sur les plate-forme aéroportuaires, dans son espace aérien immédiat.

...

# ANNEXE

## A

ASAC Aviation System Analysis Capability  
ASMGCS Advanced SMGCS

## C

CH Nombre maximum d'avion par heure qui peuvent être servis par la piste

## D

DGAC Direction Générale de l'Aviation Civile Guidance, control and Management  
Dd Distance de décollage  
D-GPS Differential Global positioning system

## E

EUROCAE European Organisation for Civil Aviation Equipment

## F

FAA Federal Aviation Administration

## K

Kts nœud

## L

L Longueur de piste  
L'ADS-B Automatic dependant surveillance

N

NASA National Aeronautics and Space Administration  
NLR Natinnel lucht et Ruimtevaartlaboratoriu

O

OACI Organisation de l'Aviation Civile Internationale  
ODS Opérationnel Dislay system  
OPAL Optimisation plate-forme Airports,including land-side

S

STAC Service technique de l'aviation civile  
SMGCS Movement guidance and control system  
SMA Surface Movement Advisor  
SIMMOD Simulation Model

T

TOP Temps d'Occupation de Piste  
Tdv Temps de dégagement en vol de l'axe de piste  
TAAM Total Airspace and Airport Modeler  
TAA Temps d'occupation de la piste pour une opération atterrissage-atterrissage  
TDD Temps d'occupation de la piste pour une opération Décollage-Décollage

V

Vd Vitesse de décollage

# BIBLIOGRAPHIE

PhD thesis.

PhD thesis.

Preston Aviation Solutions 1999. [www.preston.net](http://www.preston.net). PRESTON. *TAAM Reference Manual*. PhD thesis, 1999.

I. ANAGNOSTAKIS-W.D. HALL J.P. CLARKE R.J. HANSMAN E. FERON et A.R. ODONI A.H IDRIS, B. DELCAIRE. *Observations of departure processes at logan airport to support the development of departure planning tools*. *Air Traffic-Management R&D Seminar*. PhD thesis, 1998.

A. ACHAIBOU et F. MORA CAMINO D. STOICA. *Analyse, representation et optimisation de la circulation des avions au sol. Approche par les systèmes multi-agents*. *Troisième Congrès des Doctorants de l'Ecole Doctorale Système*. PhD thesis, 2002.

Dijkstra Edsger. « *A note on two problems in connexion with graphs* », *Numerische Mathematik*, Vol. 1, pp. 269-271., 1959.

M.J.A. VAN EENIGE. *OPAL (Optimisation Platform for Airports, including Land-side)*. NLR (Nationaal Lucht & Ruimtevaartlaboratorium), 2002. [www.nlr.nl/public/library/2002/2002-595-dcs.html](http://www.nlr.nl/public/library/2002/2002-595-dcs.html). PhD thesis, 2001.

FAA et ATAC CORPORATION. *Simmod's user's manual*. mountain view, 1998. URL [www.atac.com/simmod](http://www.atac.com/simmod). Last access.

R. HAYNIE et D. RUTISHAUSER G. DONOHUE. *Measurements of aircraft wake vortex separation at high arrival rates and a proposed new wake vortex separation philosophy*. *Proc. of the Air Traffic Management R&D Seminar*. PhD thesis, 2003.

R. MARIS et R. VIALE H.A. SIMON, M. EGIDI. *Economics, Bounded Rationality, and the Cognitive Revolution*. *Edward Elgar*. PhD thesis, 1992.

P. CRICK et E. FREVILLE J.-P. NICOLAON, A. VIDAL. *Potential benefits of a time-based separation procedure to maintain the arrival capacity of an airport in strong head-wind conditions*. *Proc. Of the Air Traffic Management R&D Seminar*. PhD thesis, 2003.

Jean-Marc Alliot Erwan Page Jean-Baptiste Gotteland, Nicolas Durand. « *Aircraft ground traffic optimisation* ». PhD thesis, 2001.

Fulkerson D. R. « *An out-of-kilter method for minimal cost flow problems* », *Journal S.I.A.M.*, Vol. 9, No. 1, pp 18-27. 1961.

- N. SUAREZ. *APPROVE (Advanced airport aProach PROCedures including Validation and Elaboration)*. EUROCONTROL, 2003. [www.approve.isdefe.es](http://www.approve.isdefe.es). PhD thesis, 2003.
- J.-C. VALLEE. *Levolution de la surveillance des mouvements au sol sur les a eroports*. STNA, *Revue technique n61*, PhD thesis.
- A. MUNDRA-C. LUNSFORD et J. TITTSWORTH W. COOPER, S. LANG. *A phased approach to increase airport capacity through safe reduction of existing wake turbulence constraints*. *Proc. of the Air Traffic Management R&D Semi-nar*. PhD thesis, 2003.

# RÉSUMÉ

## Résumé

Aujourd'hui, les systèmes aéroportuaires sont confrontés à une saturation croissante. Afin de résoudre cette problématique, les autorités responsables de la navigation aérienne s'intéressent de plus en plus à trouver des solutions relatives à la gestion du trafic des avions au sol.

Notre travail consiste à identifier les problèmes de la gestion du trafic des avions au sol ainsi que la capacité de la piste qui représente l'élément limitatif de la capacité d'un aéroport.

Mots clé : Système aéroportuaire, gestion du trafic, capacité.

## Abstract

To avoid the saturation of airport systems the authorities shall be interested in the problems of traffic management ground planes.

Our job is to present the problems of traffic management ground planes and runway capacity, which represents the limiting factor for the capacity of an airport.

Key words: airport systems, traffic management, capacity.