

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA

**Faculté de Technologie
Institut d'aéronautique et des études spatiales**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention d'un

MASTER EN AERONAUTIQUE

Spécialité : Exploitation Aéronautique

Présenté par

MAHDI Hamza

GESTION DU TRAFIC DES AERONEFS DANS UNE PLATE- FORME AEROPORTUAIRE

Encadré par : Mme SACI Hadjer

Blida, octobre 2013

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.

Summary

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.

ملخص:

لتجنب تشبع أنظمة المطار يجب أن تهتم سلطات هذه الأخيرة بمشاكل تسيير حركة مرور الطائرات على أرض المطار.

عملنا هذا يقتصر على تقديم مشاكل تسيير حركة الطائرات على أرض المطار و قدرة استيعاب المدرج التي تمثل عاملا يحد من قدرة المطار.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Mme. **BEKKOUCHE Ryma**, Ingénieur exploitation au sein de la DSA, pour m'avoir permis d'effectuer mon stage de fin d'études au sein de l'aéroport d'Alger.

Je voudrais particulièrement exprimer toute ma gratitude à M. **BENAISSA Abdeallah**, Ingénieur exploitation, pour avoir su m'encadrer pendant ces quatre mois et m'avoir permis de développer mes compétences. Je souhaiterais mettre en avant ses qualités pédagogiques et le remercier d'avoir toujours été présent pour moi malgré ses nombreuses obligations.

J'adresse aussi un profond remerciement à Mme. **SACI Hajer**, pour la gentillesse avec laquelle elle m'a acceptée et soutenue; et pour son professionnalisme et surtout son encadrement.

Enfin, je souhaitais aussi souligner la disponibilité et la gentillesse de M. **HAMED ABDELOUAHAB Farouk** et toute l'équipe de l'ENNA face à mes questions.

Ce travail est dédié à mes parents les plus chers au monde ainsi qu'à mes frères et toute ma famille, sans oublier mes amis et les personnes qui m'ont soutenu.

TABLE DES MATIERES

Résumé

Remerciment

Dédicace

Table de matiere

Liste des figures

Introduction

Chapitre I : Les objectifs généraux de Gestion du trafic des avions au sol

I.1	Introduction	12
I.2	Contrôle du trafic aérien	12
I.2.1	Définition de l'ATC.....	12
I.2.2	Division de service de contrôle de la circulation aérienne	13
I.2.3	Régulation du trafic	15
I.3	Trafic aéroportuaire	16
I.4	Système de contrôle du trafic au sol (SMGCS)	17
I.4.1	Définition de l'SMGCS.....	17
I.4.2	Les principales fonctions associées à (SMGCS)	18
A.	La fonction Surveillance	18
B.	Le Planning opérationnel	18
C.	Le Routage	19
I.4.3	Systèmes avancés de gestion et contrôle du trafic au sol	19
I.4.4	La situation actuelle de Système de contrôle du trafic au sol	21
I.4.5	Quelques études récentes	21
I.5	L'étude récente réalisée dans le cadre Algérien :	23
I.6	Conclusion	23

Chapitre II: L'organisation physique de l'aérodrome et la circulation au sol

II.1	introduction.....	25
II.2	Structure d'un aéroport	25

II.2.1 Définition	25
II.2.2 L'organisation générale d'une plate-forme aéroportuaire:	26
II.3 Problèmes opérationnels de la circulation des avions au sol	38
II.3.1 Les Problèmes liés à la météorologie.....	38
II.3.2 Les problèmes liés aux performances des avions	39
II.3.3 Solution aux problèmes	40
II.4 L'enjeu du contrôle de trafic avion au sol.....	40
II.5 Les différentes fonctions associées au contrôle du trafic sol (selon A/D d'Alger)	42
II.6 Conclusion	43

Chapitre III: Analyse de l'ensemble des problèmes de gestion du trafic au sol

III.1 Introduction.....	45
III.2 Problèmes de gestion du trafic avion au sol	45
III.3 Outils automatisés de gestion de trafic	47
III.4 L'analyse des problèmes de gestion de trafic au sol	48
III.3.1 L'analyse du problème (P0)	49
III.3.1.1 Cas d'une seule piste d'atterrissage	49
III.3.1.2 Cas de deux pistes d'atterrissage	50
III.3.2 L'analyse du problème (P1)	50
III.3.3 l'analyse du problème (P5).....	52
III.4 Conclusion	54

Chapitre IV : La capacité aéroportuaire

IV.1 Introduction :	56
IV.2 Généralités sur la capacité aéroportuaire	56
IV.2.1 Les définitions de la capacité	56
IV.2.2 Capacité du système de piste(s).....	58
IV.2.2 Les facteurs influant sur la capacité du système de piste(s)	59
IV.3 présentation de l'état de l'art actuel des méthodes d'évaluation de la capacité de l'aire de mouvement	60
IV.3.1 Modèle de détermination la capacité aéroportuaire.....	60
IV.3.2 Une approche statistique globale	61

IV.3.3	Modèle proposé par la DGAC- STAC, France	63
IV.3.4	application du model proposé par la DGAC.....	64
IV.3.4.1	Calcul du temps d’occupation de piste (TOP).....	64
IV.3.4.2	application numérique sur le système aéroportuaire d’Alger « HOUARI BOUMLEDIEN ».....	67
IV.4	Conclusion:	75

Conclusion

ANNEXES

REFERENCES

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure I.1- Positions de contrôle du trafic	26
Figure II.1- Représentation macroscopique globale des flux aéroportuaires	29
Figure II.2 : Schéma standard d'une aire de manœuvre	30
Figure II.3 : Système simple	31
Figure II.4 : Système linéaire	32
Figure II.5 : Système à jetées	33
Figure II.6 : Système à transbordement	34
Figure II.7 : Système hybride	60
Figure II.8 : Exemples réels de configuration de terminaux	63
Figure II.9 : Les zones d'apron ou aires de trafic	64
Figure II.10 : Réseau de voies de circulation.....	65
Figure II.11 : Exemples réels de configurations de systèmes de pistes d'aéroports exploitant une, deux ou plusieurs pistes sécantes	31
Figure III.1 : Interdépendances entre problèmes de gestion et de contrôle du trafic au sol des aéronefs	32
Figure III.2 : Exemple de conflits entre avions dans la zone de stationnement	33
Figure III.3 : Les principaux types de conflits sur les voies de circulation	34
Figure IV.1 : Système aéroportuaire	57
Figure IV.2 : L'estimation de la capacité pratique selon Gilbo	63
Figure IV.3 : Schéma de principe de calcul de TOP en cas de départ	64
Figure IV.4 : Schéma de principe de calcul de TOP en cas d'arrivée.....	65
Figure IV.5 : Piste 23 de l'aéroport d'Alger	60
Figure IV.6 : piste 27 de l'aéroport d'Alger	63

Tableau IV.1 : Vitesse moyenne en finale (kts).....	28
Tableau IV.2 : valeurs caractéristiques	31
Tableau IV.3 : Valeurs du TOP Si le décollage est dans l'axe dé piste	28
Tableau IV.4 : Valeurs du TOP Si virage de dégagement avant l'extrémité de piste	31
Tableau IV.5 : le TOP à l'arrivée pour la piste 23.	28
Tableau IV.6 : le TOP à l'arrivée pour la piste 09.	28
Tableau IV.7 : le départ et l'arrivée des aéronefs pendant 1h	31

Introduction

De nombreux aéroports dans le monde sont au bord de la saturation et le moindre incident peut se traduire par une situation chaotique fortement pénalisante pour tous les acteurs du transport aérien.

Cette saturation à venir, si elle n'est pas évitée, aura d'importants impacts sur la sécurité, l'efficacité, la ponctualité et la fluidité des opérations de transport aérien et aura donc des conséquences économiques notables.

Depuis plusieurs années, les autorités s'intéressent de plus en plus aux problèmes liés à l'amélioration du trafic des avions au sol. En effet, celui-ci est devenu l'un des principaux facteurs limitant la capacité des plate-formes aéroportuaires. On se rend compte aujourd'hui que l'accommodation des flux de trafic à venir ne sera possible que si l'on prend directement en compte le problème de l'amélioration sensible des conditions du trafic au sol.

Dans ce contexte, qu'un stage de quatre mois m'a été confié afin d'atteindre notre objectif « amélioration de la gestion du trafic des avions sur les plate-formes aéroportuaires ».

Nous découvrirons d'abord les objectifs généraux de la gestion du trafic des avions au sol, en précisant les systèmes actuellement développés à cet effet. Nous verrons ensuite la description physique des infrastructures aéroportuaires interagissant avec le trafic des avions au sol et les fonctions associées au contrôle du trafic sol. Nous poursuivrons avec une analyse des différents problèmes de la prise des décisions associées à la gestion du trafic des avions au sol. Enfin, nous terminerons par l'évaluation de la capacité aéroportuaire ainsi que la mise en place des solutions fiables pour remédier à cette sous-évaluation

Chapitre I

Les objectifs généraux de gestion du trafic des avions au sol

Chapitre I

Les objectifs généraux de la Gestion du trafic des avions au sol

I.1 Introduction

Ce chapitre présente principalement la problématique abordée dans cette thèse et de préciser son environnement technique. Ainsi que les objectifs des autorités aéroportuaires et les contrôleurs du trafic sol.

Les principales fonctions à mettre en œuvre sont analysées et les éléments constitutifs des systèmes avancés de gestion et contrôle du trafic au sol sont présentés. L'état d'avancement des études et des programmes de recherche dans ce domaine est aussi rapporté.

I.2 Contrôle du trafic aérien

Le contrôle de la circulation aérienne (ATC) était presque inconnu en 1944. Aujourd'hui, ce contrôle fait partie des services de la circulation aérienne, figure parmi les principaux organes auxiliaires au sol nécessaires à l'acheminement sûr et ordonné du trafic aérien dans le monde.

I.2.1 Définition de l'ATC

Le contrôle de la circulation aérienne (ATC) est un service fourni par des contrôleurs basés au sol qui coordonne les mouvements des avions au sol et dans le ciel pour assurer un flux de trafic sûr, cohérent et efficace, dans les buts de :

- prévenir les collisions entre les aéronefs et le sol ou les véhicules d'une part, et les collisions en vol entre aéronefs d'autre part (abordage). Il consiste aussi à accélérer et ordonner la circulation aérienne.

- de fournir les avis et renseignements utiles à l'exécution sûre et efficace du vol : informations météorologiques, information sur l'état des moyens au sol de navigation, information sur le trafic (quand le service de contrôle n'est pas assuré dans cette zone).
- de fournir un service d'alerte pour prévenir les organismes appropriés lorsque les aéronefs ont besoin de l'aide des organismes de secours et de sauvetage, et de prêter à ces organismes le concours nécessaire.

I.2.2 Division de service de contrôle de la circulation aérienne

Les organismes du contrôle aérien sont responsables de l'écoulement du trafic dans l'espace dont ils ont la charge. Le service rendu aux usagers doit offrir des garanties de sécurité mais aussi le meilleur débit possible. L'espace aérien est pour cela partitionné en différentes positions de contrôle, dont la fonction est liée à la nature du trafic à gérer.

Trois principales catégories fonctionnelles de positions de contrôle se distinguent :

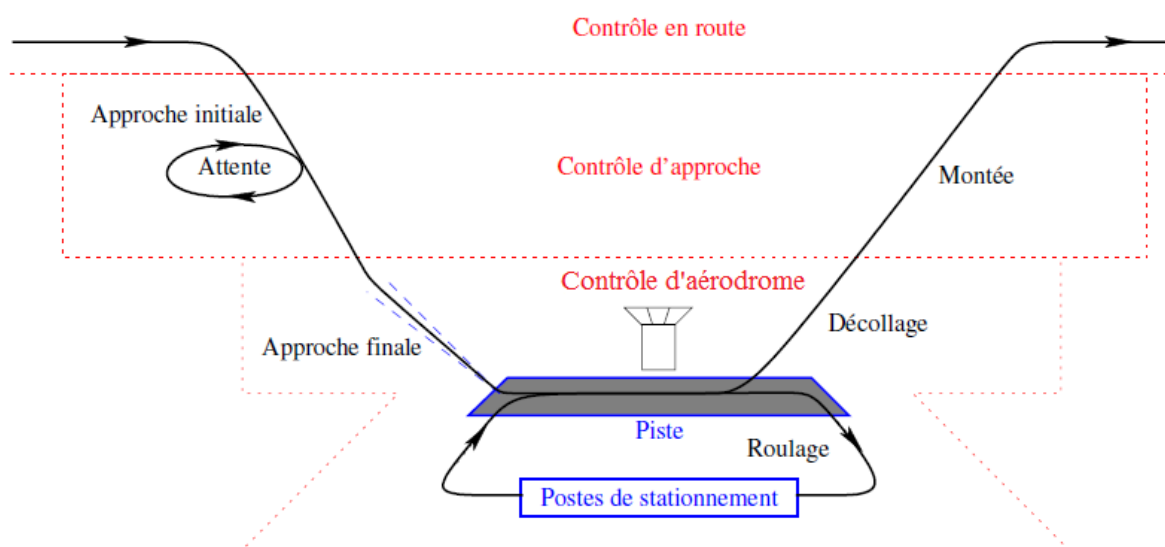


Figure I.1- Positions de contrôle du trafic

- **Le contrôle en route :**

Le contrôle en route est responsable des vols en croisière : les avions contrôlés suivent des routes prédéfinies, à une altitude (*niveau de vol*) généralement élevée et dans

des couloirs aériens réservés (*airways*). La surveillance du trafic dans ces espaces se fait le plus souvent par l'intermédiaire d'un écran radar et d'un contact radio avec les pilotes. Des manœuvres (virages, changements d'altitude, modifications de route) peuvent être ordonnées à tout moment par les contrôleurs pour assurer les séparations réglementaires entre aéronefs, tout en les guidant progressivement vers leur destination.

- **Le contrôle d'approche :**

Le contrôle d'approche gère les avions aux alentours d'un aéroport, pendant leur phase de descente ou de montée. Le système de surveillance est identique à celui des secteurs en route, mais la densité de trafic est généralement plus élevée : des limitations de vitesse sont souvent imposées et peuvent être associées à des réductions de normes de séparation. Des procédures d'attente spécifiques sont utilisées pour réguler le flux d'arrivée et préparer correctement le séquençement des atterrissages, bien avant la phase finale de la descente.

- **Le contrôle d'aérodrome :**

Le contrôle d'aérodrome celui qui nous intéresse, est responsable de toute la phase aéroportuaire des vols, depuis la descente finale de l'avion jusqu'à son décollage suivant, comprenant notamment le séquençement des mouvements sur la piste, le guidage au sol et le long des voies de circulation (*taxiways*).

La surveillance du trafic est avant tout visuelle (ces positions sont situées dans la tour de contrôle) mais les plus grands aéroports sont aujourd'hui munis d'un système de visualisation radar du trafic au sol.

La première méthode pour contrôler le trafic aérien au sol et aux abords immédiats d'un aéroport est l'observation visuelle à partir d'une tour de contrôle. Cette dernière, haute structure vitrée, offre aux contrôleurs aériens une vue panoramique qui couvre l'aéroport et ses environs. Les contrôleurs d'aérodrome sont responsables de la séparation et du mouvement efficace des aéronefs et des véhicules qui manœuvrent sur les voies de circulation et les pistes de l'aéroport ainsi que des aéronefs en vol à proximité de l'aéroport.

Des écrans radar sont également à la disposition des contrôleurs d'aérodrome dans certains aéroports. Ils peuvent utiliser un système radar appelé « Radar sol » pour surveiller et guider les aéronefs et autres véhicules se déplaçant sur l'aéroport ainsi qu'un radar dit d'approche pour surveiller le trafic aérien en approche ou en décollage. Ces écrans affichent la position des aéronefs ainsi que des labels de données comprenant l'identification, la vitesse et l'altitude de ces derniers.

1.2.3 Régulation du trafic

L'adaptation relative du trafic et de la capacité du système est le fruit d'un ensemble de filtres prédictifs, fonctionnant à échéances variables :

- **L'organisation à long terme** : est le filtre le plus macroscopique :

Son but est d'organiser le trafic plus de 6 mois en avance. La distribution des créneaux aéroportuaires pour la saison semestrielle suivante en est un exemple : des règles spécifiques déterminent l'attribution de ces créneaux aux compagnies, en fonction de la capacité estimée des aéroports.

- **L'organisation à court terme (pré-tactique)** :

Consiste à réguler le trafic à partir des informations plus précises disponibles entre une semaine et un jour avant : cette régulation se base sur les plans de vol déposés, décrivant les intentions des compagnies, la capacité disponible, calculée en fonction du nombre prévu de positions de contrôle ou encore les données des années ou des semaines précédentes, lorsque certains phénomènes répétitifs sont attendus (pointes de trafic autour des jours fériés par exemple). En Europe, cette régulation est effectuée par un organisme centralisé : le CFMU (*Central Flow Management Unit*). Elle aboutit à des *créneaux de décollage* imposés à certains vols : ces créneaux correspondent à une heure précise de décollage, généralement retardée par rapport à l'heure initialement demandée, que les avions concernés doivent respecter ces changements (le contrôle d'aéroport en est averti et participe à leur application).

- **L'organisation en temps réel (tactique) :**

Permet également d'ajuster les flux de trafic, en fonction d'événements imprévus ou mal connus la veille (comme les phénomènes météorologiques par exemple). La régulation peut suivre le même processus que dans l'organisation à court terme (des créneaux sont imposés aux vols qui n'ont pas encore décollés), mais aussi se matérialise par des changements de route (ou de destination) des vols en cours, ou même des annulations de vols.

I.3 Trafic aéroportuaire

La grande diversité des opérations au sol nécessite souvent la coexistence de différentes positions de contrôle au sein d'un même aéroport :

- **Les positions « LOC »** gèrent les pistes de l'aérodrome :

Elles sont responsables du séquençage des mouvements sur la piste, en accord avec les normes de séparation réglementaires, définies en temps et en distance en fonction des catégories de turbulence de sillage et des vitesses des avions. Le respect des normes montre notamment que la piste ne peut absorber qu'un seul mouvement à la fois. La principale difficulté liée à cette position est relative à la gestion du flux des arrivées, dont l'ordonnement et la trajectoire ne peuvent plus être modifiés pendant l'approche finale.

Les ordres de contrôle donnés aux avions concernent :

- Les autorisations (*clairances*) de décollage et d'atterrissage ;
- Les éventuelles modifications de vitesse pour les avions en approche finale : ces actions sont limitées par les performances des avions mais sont indispensables à la gestion correcte des pistes partagées par les départs et les arrivées ;
- L'affectation des bretelles d'entrée et de sortie de piste, souvent négociée avec les pilotes ;
- En dernier recours, la *remise de gaz* lorsque la piste n'est pas disponible pour une arrivée.

- **Les positions « SOL »** sont chargées de la surveillance du trafic au roulage sur les *taxiways* :

Elles peuvent imposer un chemin à suivre à chaque avion et participent au respect des séparations aux abords des intersections, en ordonnant l'arrêt de certains d'entre eux. Aucune vitesse de roulage n'est cependant imposable : La consigne officielle préconise le roulage « au pas », a une vitesse adaptée aux conditions de circulation et le respect des séparations reste officiellement sous l'entière responsabilité des pilotes, ce qui rend parfois les prises de décision ambiguës.

- **Les positions « APRON »** sont responsables du séquençement des avions dans les zones de stationnement (ordre des entrées et des sorties de parkings).

I.4 Système de contrôle du trafic au sol (SMGCS)

Avec la création de l'OACI, les premiers groupes de travail abordant ce domaine ont très vite conclu qu'une gestion efficace des mouvements aéroportuaires passait par la création d'un véritable « système » de contrôle du trafic au sol mettant en relation les contrôleurs, les pilotes et les autres agents intervenant sur la plate-forme. Ce système, appelé alors SMGCS (Surface Movement Guidance and Control System) a fait l'objet des nombreuses études, notamment avec l'accroissement du trafic et l'extension des voies de circulation et des zones de stationnement sur les grands aéroports. Aujourd'hui ce type de système n'est implémenté formellement que partiellement sur quelques aéroports aux Etats-Unis alors que des études Expérimentales ont été réalisées à Roissy, Heathrow et Frankfort.

1.4.1 Définition de l'SMGCS

SMGCS est l'ensemble de tous les éléments de l'aéroport qui contribuent au guidage (Guidance) et au contrôle (Control) des mouvements au sol (Surface Movement). Pour ne citer que quelques exemples parmi d'autres : les lignes peintes sur les voies de circulation, des panneaux affichant des indications pour le pilote, le radar sol, etc.

1.4.2 Les principales fonctions associées à (SMGCS)

La fonction Surveillance, qui doit permettre d’accompagner l’évolution du trafic au sol et d’évaluer la situation courante du trafic.

La fonction Planning opérationnel qui, prenant en compte la situation actuelle du trafic, génère un plan d’action à partir des conditions courantes de la demande (avions à l’arrivée ou au départ) et de l’offre (par exemple, les positions de parking disponibles, les créneaux de départs sur les pistes etc.) de circulation.

La fonction Routage qui, à partir du plan d’action, génère des consignes de guidage pour les pilotes qui devront les exécuter.

A. La fonction Surveillance

Les deux tâches principales de la fonction surveillance sont de réaliser l’identification et la localisation de tous les objets présents sur la plate-forme aéroportuaire. Ces objets sont aussi bien mobiles (avions en mouvement sur les pistes, véhicules et avions évoluant sur les voies de circulation) que statiques (véhicules à l’arrêt, obstacles permanents ou temporaires) et sont susceptibles d’influer sur le trafic aéroportuaire.

La troisième tâche de la fonction surveillance est de réaliser l’évaluation de la situation du trafic en détectant les situations potentielles de conflit. Si de telles situations sont détectées, la fonction de planning opérationnel devra permettre de les éviter ou de les résoudre.

B. Le Planning opérationnel

L’objectif de la fonction de planning opérationnel est la génération d’un plan d’acheminement des véhicules visant à la fluidité d’un trafic qui minimise les conflits et les retards. Plusieurs tâches doivent être réalisées pour accomplir cet objectif.

La tâche principale de la fonction planning est la génération de plans d’acheminement sur les voies de circulation minimisant les conflits pour les mobiles contrôlés. Ceci prend en compte la circulation des avions allant de la piste d’atterrissage jusqu’à leur point de

stationnement, la circulation des avions allant de leur point de stationnement jusqu'à la piste de décollage et les véhicules de service allant d'un point à un autre sur la plate-forme aéroportuaire. Elle doit veiller à l'intégration des opérations de décollage et d'atterrissage au niveau des pistes et de l'espace aérien immédiat en tenant compte des restrictions d'atterrissage et de décollage (créneaux horaires, séparations, trajectoires d'approche et de décollage).

C. Le Routage

Aujourd'hui, tous les véhicules se font signifier la route qu'ils doivent suivre sur la plateforme aéroportuaire. Le système de routage peut être réactif pour prendre en compte les perturbations du trafic sol. La fonction routage génère alors pas à pas, et dans ce cas on parlera de guidage, les consignes de guidage.

Ces trois fonctions sont menées simultanément et peuvent faire face à de forts aléas (Météorologiques, panne avion ou équipement, mouvements sociaux etc.) dont les conséquences sur le trafic au sol sont aggravées lorsque le système opère au voisinage de sa capacité opérationnelle.

1.4.3 Systèmes avancés de gestion et contrôle du trafic au sol

➤ *Advanced Surface Movement Guidance and Control System - A-SMGCS*

A-SMGCS (prononciation: aspics) signifie (Advanced Surface Movement Guidance and Control System). C'est une version améliorée de SMGCS.

On parle d'A-SMGCS lorsque le guidage et le contrôle des avions sont assistés par une automatisation poussée, notamment dans la tour.

Cette automatisation peut évidemment prendre différentes formes ; chaque aéroport peut choisir celle qu'il met en application. Cependant, l'OACI a essayé de créer un cadre de référence pour orienter et rationaliser ces développements. (A-SMGCS) est l'acronyme imaginé par l'OACI pour désigner ce concept.

- **Objectifs**

Les objectifs de ces systèmes sont bien sûr d'offrir les meilleures possibilités de capacité avec un très haut niveau de sécurité dans toutes les conditions mais aussi précisément :

- D'offrir à tous les acteurs (pilotes, contrôleurs, conducteurs de véhicule) un même niveau de service ;
 - De préciser très clairement les responsabilités de chacun ;
 - D'élaborer des moyens améliorés à l'intention de ces acteurs pour qu'ils puissent avoir une meilleure prise en compte de la situation ;
 - D'améliorer les indications au sol et les procédures ;
 - De réduire la charge de travail du contrôleur et du pilote par l'automatisation de certaines fonctions et l'amélioration de l'ergonomie ;
 - D'offrir des solutions modulaires adaptées à chaque type d'aérodrome ;
 - D'assurer la détection, l'analyse et la résolution des conflits ;
 - De garantir un environnement plus sûr et efficace par l'automatisation en pouvant y inclure des éléments de contrôle, de guidage et d'assignation de routes.
- **Le but de l'A-SMGCS** est de créer un cadre ouvert et modulaire dans lequel des modules complémentaires de différents fabricants peuvent fonctionner ensemble au sein d'un système intégré et cohérent.

- *Collaborative Decision Making - CDM*

Adopté par la Conférence européenne sur l'Aviation civile (ECAC), le concept de (Collaborative Decision Making) est développé par Eurocontrol.

Le CDM vise à améliorer les flux de trafic aérien et la gestion de la capacité (ATFCM) aux aéroports en réduisant les retards, en affinant la ponctualité des différents intervenants et en optimisant l'utilisation des ressources.

Le CDM permet à un intervenant, par un échange d'information, de prendre les bonnes décisions en collaboration avec ses partenaires : exploitants d'aéroport, compagnies aériennes, contrôle aérien, CFMU.

1.4.4 La situation actuelle de Système de contrôle du trafic au sol

La gestion du trafic au sol sur les aéroports a donc subi une évolution importante depuis le début des années 90. Sous la pression de leurs besoins opérationnels, les aéroports ont fait appel à des systèmes de plus en plus évolués. Au stade d'équipement actuel, il s'agit encore de fournir au contrôleur une image représentative de la situation au sol. Ce premier niveau est plus complexe qu'il n'y paraît au premier abord, Certaines questions restent critiques :

- La numérisation de la poursuite par radar de surface ;
- La fusion des données de localisation avec l'apparition de nouveaux moyens de localisation (ADS-B, Mode S) ;
- La présentation des données aux contrôleurs et les problèmes d'interfaçage ;
- Le traitement des données et la génération de signaux d'alarme ;
- La communication numérique (datalink) entre avions, mobiles et tour de contrôle.

Le concept d'A-SMGCS devra être progressivement implanté dans la plupart des grands aéroports et conduire à l'automatisation de la gestion du trafic au sol avec plusieurs degrés d'assistance des contrôleurs, pilotes et conducteurs de véhicules.

1.4.5 Quelques études récentes

Citons ici quelques études récentes réalisées dans le cadre européen :

- *Le project TARMAC (Taxi And Ramp Management And Control), 1994]. Concentré sur:*
 - La vérification des bénéfices apportés par le concept intégré d'A-SMGCS comme l'amélioration de l'efficacité et de la sûreté ;
 - La détermination de paramètres clé validés en vue de la standardisation (ICAO, EUROCONTROL);
 - La démonstration des solutions techniques;

- Le développement, l'essai et l'optimisation des éléments principaux de l'A-SMGCS;
- La définition de solutions pour toutes les catégories d'aéroports.

➤ *Le projet DEFAMM (DEvelopment of demonstration Facilities for Airport Movement guidance, control and Management)*

[DEFAMM] est un projet qui a été commandité par la Commission Européenne dans le 4ème programme-cadre avec la contribution d'industriels, d'organisations de recherche, d'aéroports et de fournisseurs de service de contrôle de trafic aérien. Le projet DEFAMM a visé à analyser les fonctions principales de gestion et de contrôle des mouvements sol dans un aéroport en utilisant des équipements dans un cadre opérationnel réel. L'évaluation qui a été réalisée a considéré les gains en sécurité et efficacité pour les compagnies aériennes et pour les autorités aéroportuaires.

➤ *Le projet BETA (Operational benefit evaluation by testing an A-SMGCS) [BETA] a eu comme objectifs :*

- D'identifier les contraintes actuelles sur les voies de circulation, les pistes et les postes de stationnement sur l'efficacité et la capacité de l'aéroport une fois mis en œuvre l'ASMGCS,
- De définir un concept opérationnel d'A-SMGCS en termes de modification des procédures afin d'éliminer ou de réduire ces contraintes,
- De démontrer les avantages opérationnels aussi bien sur le plan quantitatif que qualitatif pour les utilisateurs d'un tel système,
- De démontrer la réduction des impacts sur l'environnement qui peut être obtenue par un tel système,
- De fournir des données détaillées de performance des sous-systèmes/systèmes pour le manuel A-SMGCS de l'OACI.

I.5 L'étude récente réalisée dans le cadre Algérien :

➤ *Surface Movement Control (SMC) :*

Dans le cadre du contrôle des mouvements au sol (S.M.C : Surface Movement Control) c'est à l'E.N.N.A qu'incombe la responsabilité opérationnelle et la coordination de ce dernier.

Cette réglementation, inspirée des documents, manuels annexes de l'OACI, devra être appliquée à la lettre. Toute infraction constatée, lors de l'exécution d'une quelconque opération ayant eu lieu sur les aires de mouvement, entraînera automatiquement les sanctions prévues à cet effet.

• **Définition du S.M.C :**

- Organe spécialisé de la Circulation Aérienne;
- Chargé du contrôle des mouvements au sol « S.M.C » et de l'application de la réglementation régissant la circulation au sol;
- Relever les infractions constatées et de prendre les mesures de sanctions appropriées.

I.6 Conclusion

La gestion du trafic des avions au sol qu'elle doit être traitée d'un niveau de sécurité et efficacité exigé par l'OACI apparaît donc comme un problème extrêmement complexe où elle doit être résolue aussi bien 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 sol, ce qui semble se traduire par des structures complexes de gestion et de contrôle.

Chapitre II

L'organisation physique de l'aérodrome et la circulation au sol

Chapitre II

L'organisation physique de l'aérodrome et la circulation au sol

II.1 introduction

La connaissance des infrastructures aéroportuaires et des procédures qui lui sont rattachées permet de mieux comprendre les modalités d'écoulement du trafic au sol : l'objectif de ce chapitre n'est pas de fournir une description détaillée de tous les équipements pouvant être utilisés sur un aéroport, mais de donner un aperçu général de l'infrastructure aéroportuaire et des conditions de circulation des aéronefs et des principales contraintes.

II.2 Structure d'un aéroport

L'efficacité maximale d'un aéroport n'est obtenue qu'en réalisant un équilibre entre, d'une part, les aérogares de passagers et de fret (**zone publique**), et d'autre part le système de pistes, le système de postes de stationnement et les zones d'entretien des avions (**zone réservé**). Ces éléments fonctionnels distincts sont reliés par le réseau de voies de circulation. Le réseau de voies de circulation constitue ainsi le support des échanges physiques entre les diverses sous systèmes de la plateforme aéroportuaire et son fonctionnement efficace est essentiel à l'utilisation optimale de la plate-forme aéroportuaire.

II.2.1 Définition

- **Aérodrome :**

Surface définie sur terre ou sur l'eau (comprenant, éventuellement, bâtiments, installations et matériel), destinée à être utilisée, en totalité ou en partie, pour l'arrivée, le départ et les évolutions des aéronefs à la surface.

- **Aire d'atterrissage:**

Partie d'une aire de mouvement destinée à l'atterrissage et au décollage des aéronefs.

- **Aire de manœuvre :**

Partie d'un aérodrome à utiliser pour les décollages, les atterrissages et la circulation des aéronefs à la surface, à l'exclusion des aires de trafic

- **Aire de trafic :**

Aire définie sur un Aérodrome terrestre, destinée aux aéronefs pendant l'embarquement ou le débarquement des voyageurs, le chargement et le déchargement de la Poste ou du Fret, le ravitaillement en carburant, le stationnement ou l'entretien.

- **Aire de mouvement:**

Partie d'un aérodrome à utiliser pour les décollages, les atterrissages et la circulation des aéronefs a la surface, et qui comprend l'aire de manœuvre et les aires de trafic.

II.2.2 L'organisation générale d'une plate-forme aéroportuaire:

Le « côté air » de l'aéroport peut être résumé par une grande boucle dont le nœud est constitué par les pistes et qui passe par les aires (les postes) de stationnement des avions. Il est clair que ce niveau de représentation est insuffisamment détaillé pour aborder l'analyse des problèmes opérationnels liés à la circulation des avions au sol, mais il met en avant le traitement cyclique réalisé par la plate-forme aéroportuaire sur le flux d'aéronefs l'utilisant.

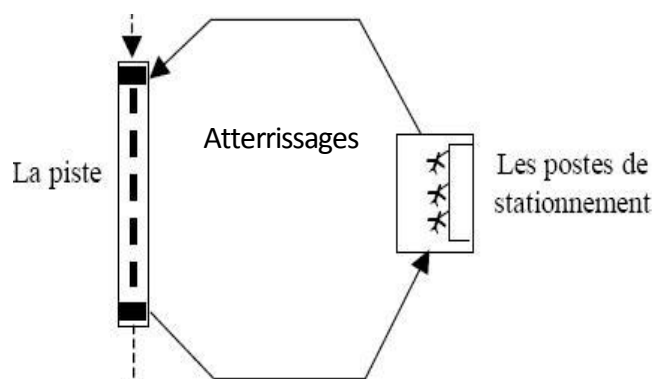


Figure II.1- Représentation macroscopique globale des flux aéroportuaires

Les mouvements au sol sont classés en trois grandes catégories : arrivées, départs et transferts d'un poste de stationnement à un autre.

Si sur le moyen terme (la journée) les deux premiers types de mouvements ont tendance s'équilibrer en volume, le troisième type reste marginal sur beaucoup d'aéroports.

Au niveau organisationnel et opérationnel on peut identifier des zones de circulation distinctes : les zones des pistes (runways), la zone des voies de circulation (taxiways), les zones des rampes associées à des zones de postes de stationnement (apron et parking). Chacune de ces zones comporte des règles spécifiques de fonctionnement et peuvent être sous la supervision directe de contrôleurs différents. Remarquons que sur un grand aéroport plusieurs zones de pistes et de postes de stationnement peuvent coexister avec en général des voies de circulation qui permettent d'assurer la connexion et l'accessibilité de celles-ci.

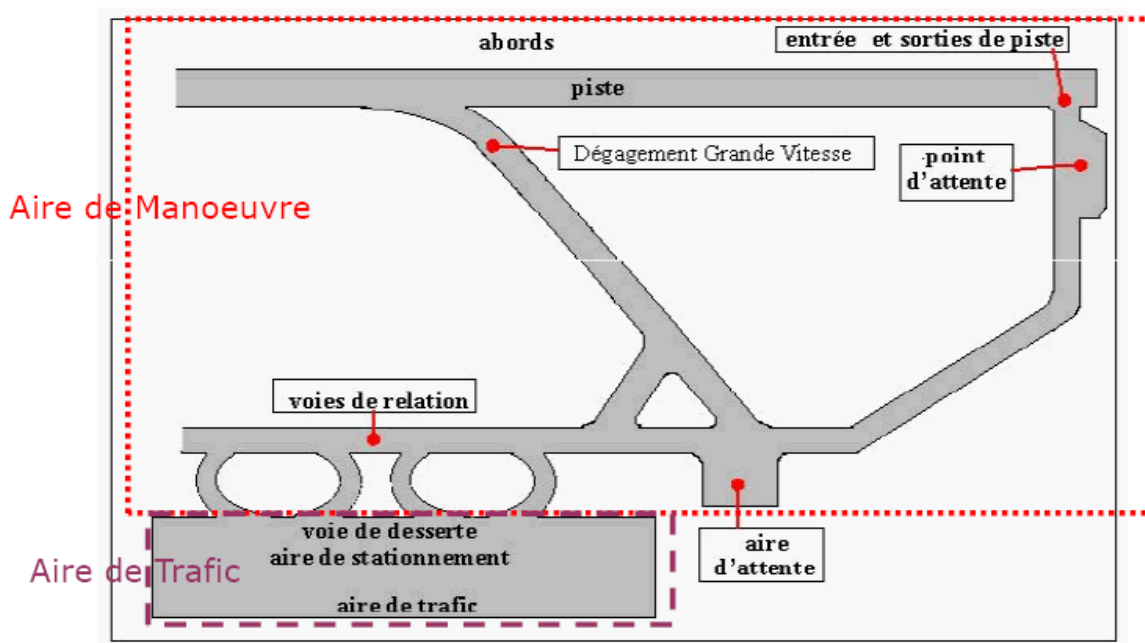


Figure II.2 : Schéma Standard d'une Aire de Manoeuvre

Les pistes, par leurs dimensions, sont souvent les éléments les plus critiques lors de la définition ou de la redéfinition d'une plate-forme aéroportuaire ; leur disposition influencera non seulement la position et les dimensions des différents terminaux, mais aussi la

disposition et l'extension des voies de circulation. L'horizon de planification des plate-formes aéroportuaires porte sur plusieurs décennies et au fur et à mesure que le trafic augmente sur celles-ci, les possibilités de restructuration deviennent en général de plus en plus limitées compte tenu de l'espace disponible restreint et des contraintes d'accessibilité et d'environnement, chaque fois plus rigides compte tenu de la tendance générale à la densification de l'occupation des espaces au voisinage des aéroports.

Les principaux éléments constitutifs « côté air » de la plate-forme aéroportuaire sont : les aires de stationnement, les voies de circulation et les pistes.

- **Les aires de stationnement**

Les aires de stationnement sont les aires de la plate-forme aéroportuaire destinée à recevoir les avions pendant l'embarquement ou le débarquement des passagers, de la poste ou du fret, pendant le ravitaillement en carburant, le stationnement au repos et l'entretien. On peut distinguer plusieurs types d'aires de stationnement : les aires de stationnement destinées à l'aérogare de passagers et au fret, à l'entretien, au garage, à l'aviation générale basée sur cette plate-forme et au stationnement temporaire des avions de passage.

Les aires de garage, destinées au stationnement des aéronefs en dehors des périodes d'escale, et les aires d'entretien, destinées aux opérations d'entretien et de réparation, ne sont jamais dans la pratique des facteurs limitatifs de la capacité d'un aéroport. Par contre, l'expérience montre que les aires de trafic passagers ou fret peuvent représenter un élément de saturation sur un aéroport. Les gestionnaires devront vérifier que le nombre de postes de stationnement et leur disposition est compatible avec les volumes et la nature (dimensions des aéronefs) du trafic attendu, notamment pendant les heures de pointe. Les limitations de capacité dues à l'insuffisance du nombre de postes conduisent souvent à l'utilisation de positions déportées inconfortables pour les passagers et pénalisantes pour les compagnies aériennes.

La circulation des aéronefs sur l'aire de manœuvre pour stationnement peut parfois être un facteur limitatif de la capacité des voies de circulation. Ce genre de problème se rencontre surtout sur des aéroports exigus et à fort trafic. Les évolutions des avions stationnés en «nose-in» peuvent entraver des mouvements d'autres aéronefs gagnant leur poste ou le

quittant. De tels conflits en heures de pointe ont des répercussions immédiates. La simulation au cas par cas et pas à pas des mouvements de tous les appareils susceptibles d'utiliser cette zone de stationnement en heure de pointe peut permettre de valider simultanément la configuration de stationnement et les procédures opérationnelles de stationnement.

La configuration des zones de stationnement est étroitement reliée au concept utilisé pour les aéroports de passagers et de fret. On peut par exemple considérer des configurations telles que :

- Le système simple qui s'applique aux aéroports à faible volume de trafic, les avions y sont stationnés en oblique de manière à pouvoir entrer et sortir par leurs propres moyens, le problème du souffle moteur doit être néanmoins considéré.

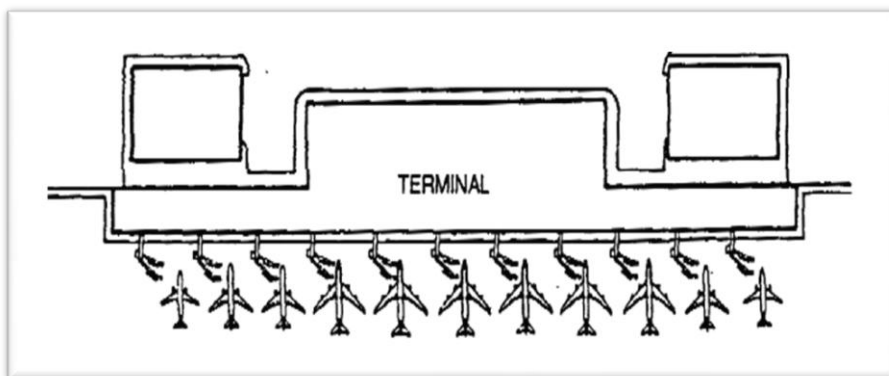


Figure II.3- Système simple

- Le système linéaire qui peut être considéré comme une phase évoluée de la configuration simple.

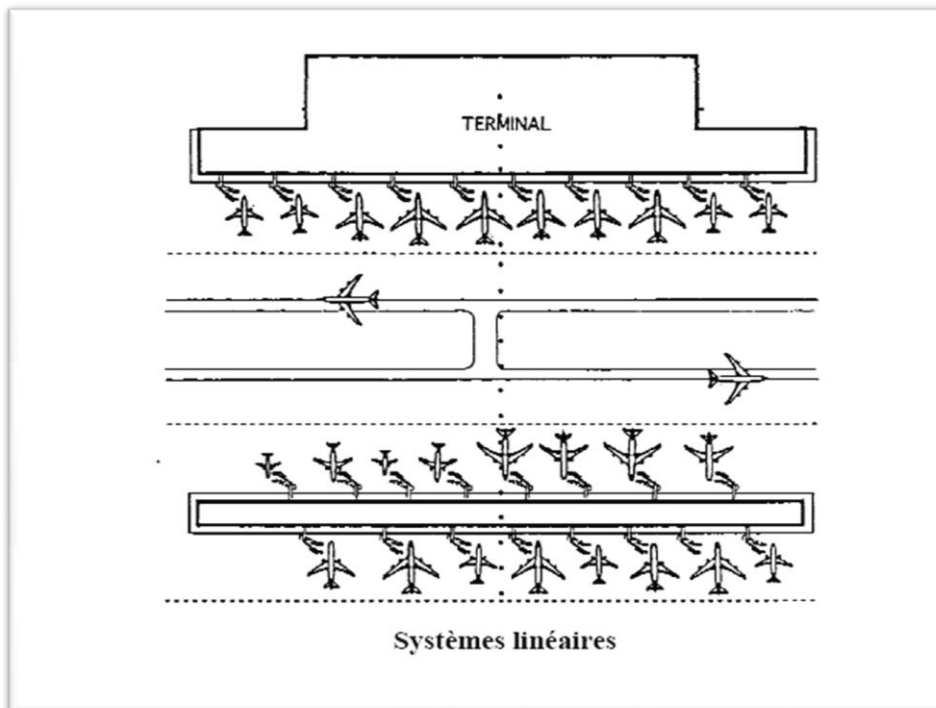


Figure II.4 - système linéaire

- Le système à jetées dont il existe plusieurs variantes. Les avions peuvent stationner au niveau des postes. Dans le cas de plusieurs jetées il faut aménager un espace suffisant pour éviter les conflits et pouvoir répondre aux exigences des avions de plus grandes dimensions.

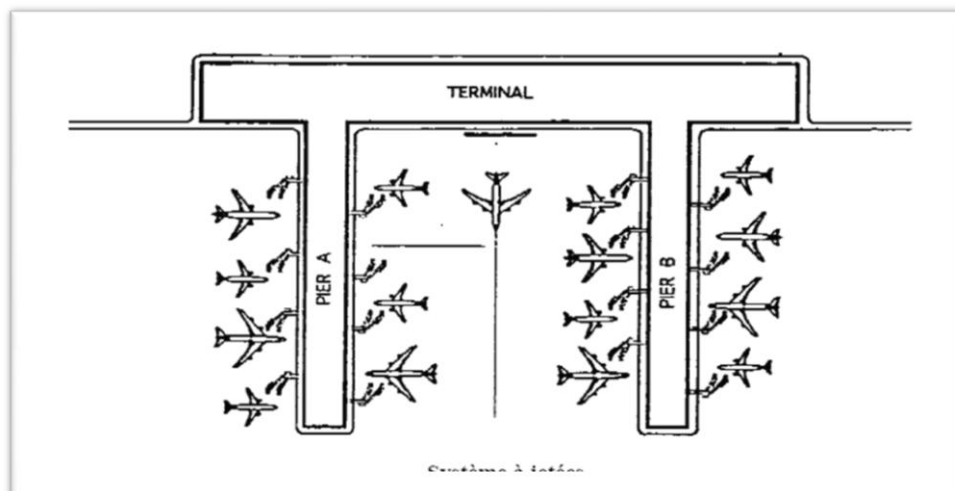


Figure II.5 - Système à jetées

- Le système à satellites qui comprend des unités satellites séparées de l'aérogare et entourées de postes de stationnement d'avions, l'accès passagers se fait par un passage souterrain ou surélevé. Ce type de conception se prête mal à des développements ultérieurs.
- Le système à transbordement, ou système déporté, est le plus convenable pour les opérations des avions, mais il faut transporter les équipages, les passagers, les bagages et le fret sur des distances qui peuvent être relativement longues ou sur des itinéraires encombrés et ceci peut donc conduire à des retards supplémentaires.

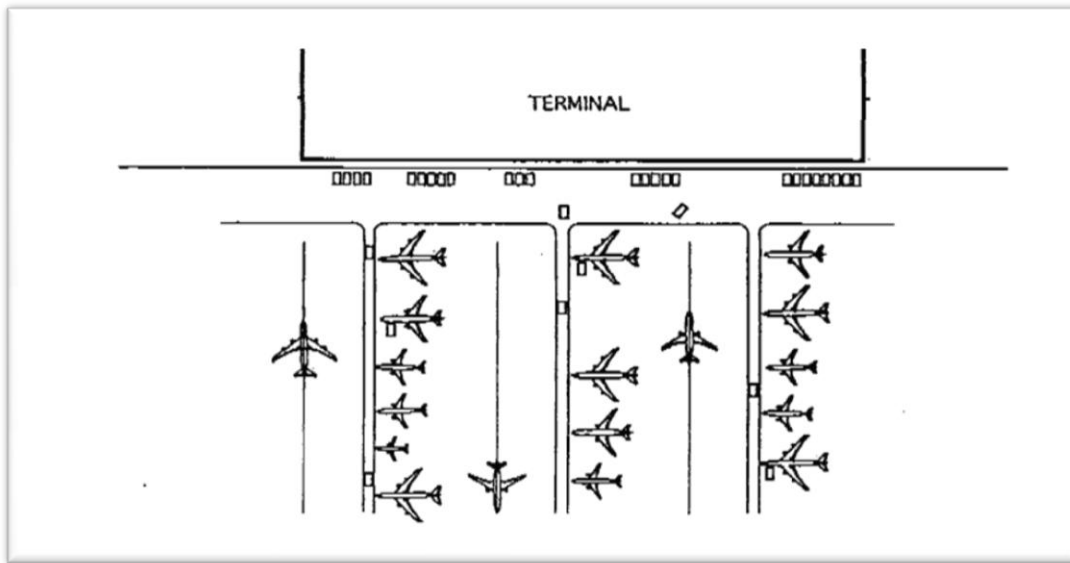
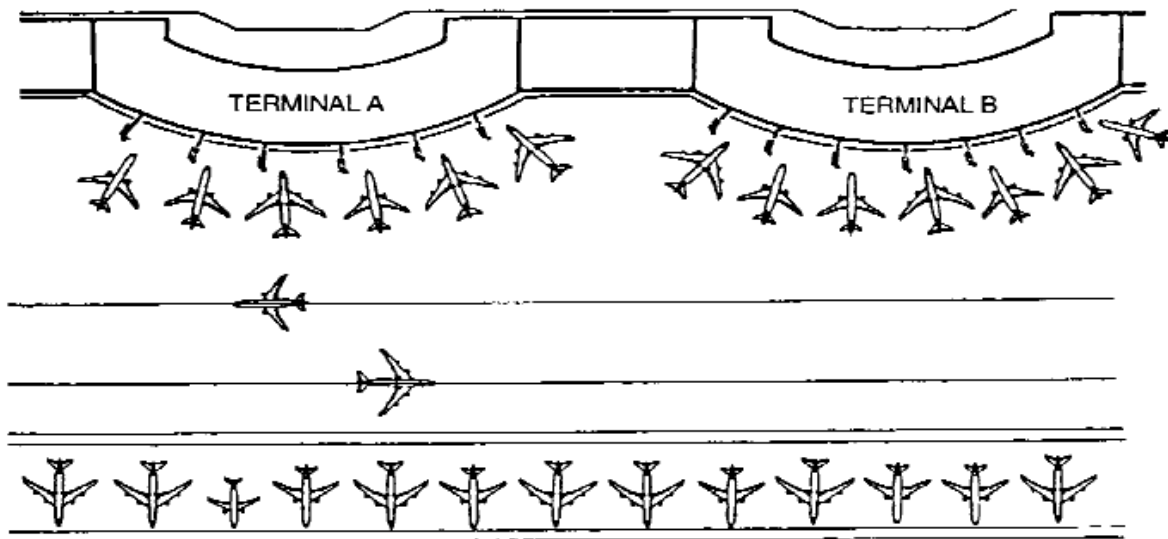


Figure II.6 - Système à transbordement

- Le système hybride qui représente une combinaison de deux ou plusieurs systèmes décrits ci-dessus, c'est la pratique la plus courante sur les grands aéroports.



Système hybride

Figure II.7 - Système hybride

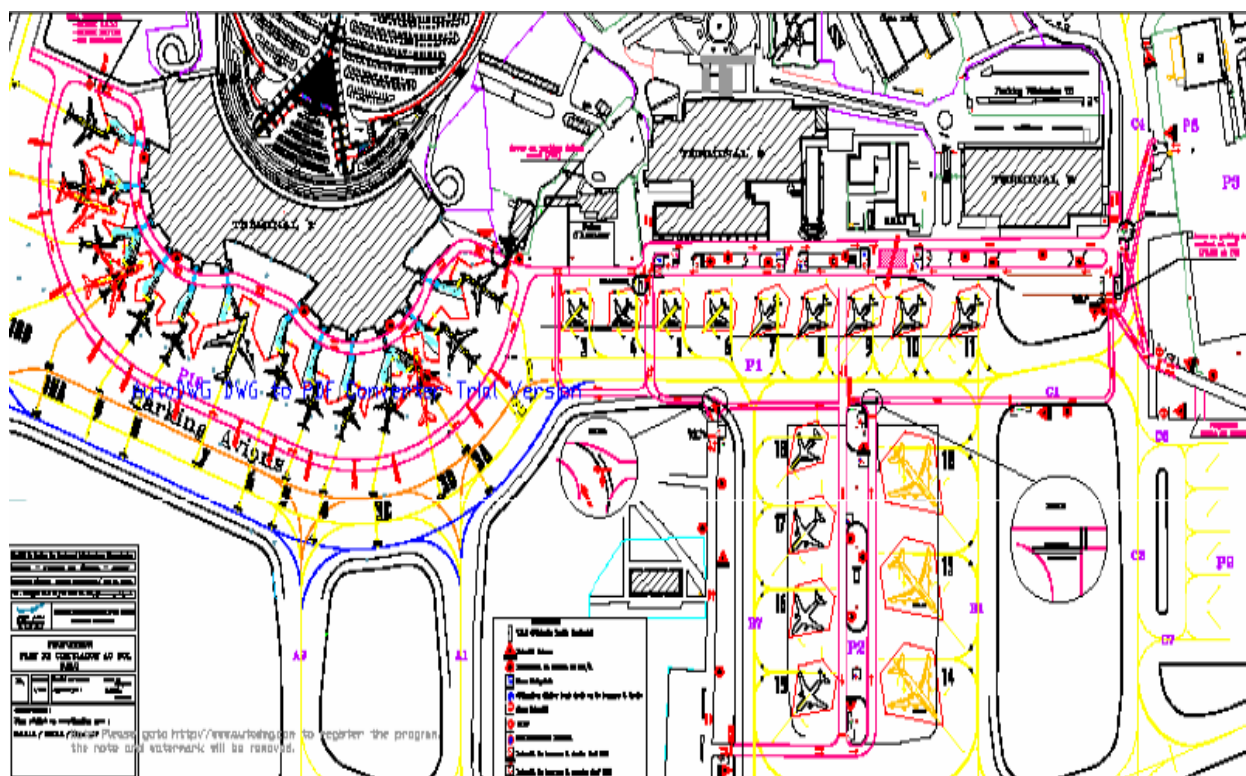


Figure II.8 - Exemples réels de configuration de terminaux
(Aéroport houari Boumediene)

- Les aires de trafic (aprons)

Les aires de trafic ou aprons sont les zones de raccordement entre les postes de stationnement et les voies de circulation, parfois comprises dans celles-ci. Sur certains aéroports, selon leur infrastructure, cette zone peut être absente. L'exemple typique d'utilisation d'aprons concerne les postes de stationnement avec un système à jetées. Cette zone ne permet pas la circulation de deux avions en sens opposé et des restrictions de circulation doivent être introduites. Ainsi en général, pour éviter les conflits, l'avion qui n'a pas la priorité doit attendre sur la voie de circulation et laisser passer l'avion prioritaire par la zone de trafic. La zone d'apron est un tampon entre les voies de circulation et les postes de stationnement. Au moment du repoussage des avions, l'existence d'un apron évite le blocage de la circulation sur les voies de circulation voisines.

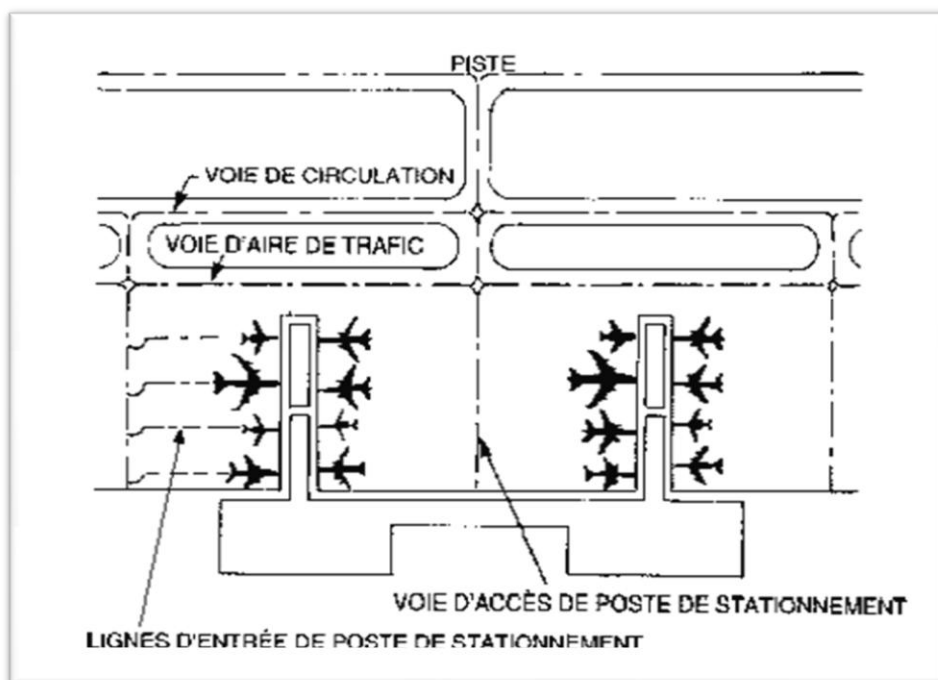


Figure II.9 - Les zones d'apron ou aires de trafic

- **Les voies de circulation**

D'une façon générale, l'expérience montre que les voies de circulation peuvent devenir un élément critique pour la capacité d'un système aéroportuaire. Face à une forte demande de trafic, la carence de voies de circulation ou la complexité du réseau de voies de circulation peuvent conduire à cette situation :

- C'est le cas des aéroports à une seule piste ne possédant pas de voie de circulation parallèle. On ne trouve alors souvent qu'une seule entrée-sortie. La voie de circulation qui relie la piste aux installations terminales est alors unique ; des blocages peuvent apparaître lorsqu'un décollage suit un atterrissage. Le retard induit est alors équivalent au temps de parcours de cette voie unique afin de la dégager.
- C'est le cas des aéroports à plusieurs pistes avec un réseau complexe de voies de circulation, entraînant des traversées des pistes et des croisements multiples de voies de circulation. Les traversées de piste sont effectuées soit par les appareils qui rejoignent leur piste de décollage soit par les appareils qui viennent d'atterrir. Au niveau des croisements de voies, des conflits apparaissent entre les avions à l'arrivée et au départ.

On peut énoncer quelques principes généraux de conception du réseau de voies de circulation:

- Le système des voies de circulation reliant les divers éléments de la plate-forme doit être aussi court que possible, réduisant ainsi la durée de la circulation au sol et les coûts associés au roulage sur celles-ci,
- Il doit être aussi simple que possible pour éviter aux contrôleurs du trafic au sol d'avoir à donner des instructions compliquées et pour simplifier la tâche des pilotes,
- Il convient d'adopter autant que possible des tracés rectilignes afin de limiter les manœuvres délicates et à basse vitesse des avions,
- Les intersections de pistes et de voies de circulation doivent être évitées dans la mesure du possible dans l'intérêt de la sécurité et pour réduire la possibilité des retards sur les voies de circulation (conflits, formation des files d'attente),
- Les itinéraires des voies de circulation devraient comporter le plus grand nombre possible de segments à sens unique afin de réduire les conflits avec d'autres avions et les retards correspondants. Il convient d'analyser les écoulements sur les divers segments pour chaque configuration dans laquelle la ou les pistes seront utilisées.

Pour limiter les niveaux d'investissement mis en œuvre, les réseaux de voies de circulation d'un aéroport présentent souvent un niveau de développement adapté à la capacité requise à court terme. Une bonne conception de l'ensemble doit alors permettre d'introduire progressivement des éléments additionnels à mesure que la demande augmente

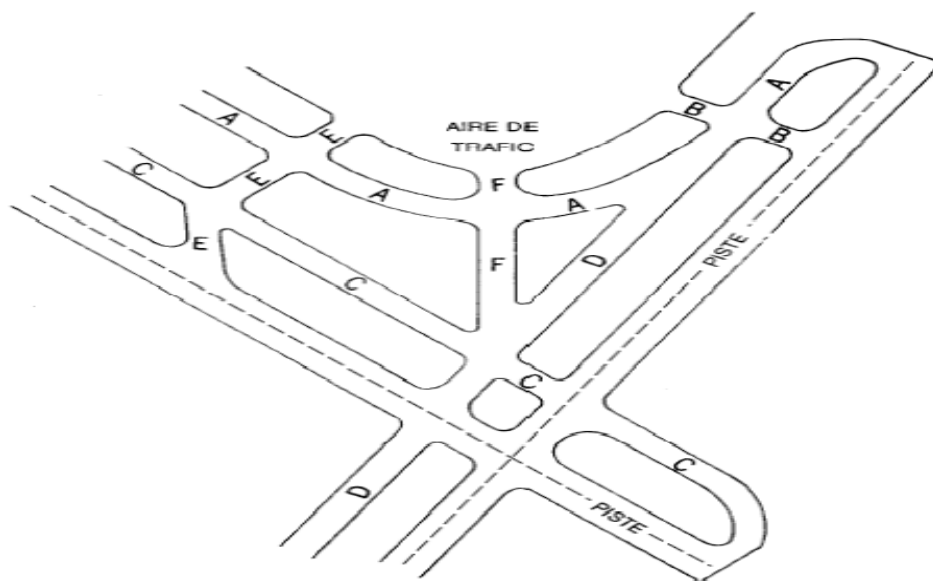


Figure II.10 - Réseau de voies de circulation

Les voies de circulation sont strictement signalisées, la réglementation internationale obligeant les autorités aéroportuaires à signaler et marquer les voies de circulation. Les moyens de signalisation sont très divers : panneaux lumineux, panneaux réfléchissants, balises lumineuses, barres d'arrêts, éclairages et autres systèmes mobiles. Le marquage est fait avec de la peinture réfléchissante, il peut être axial ou transversal.

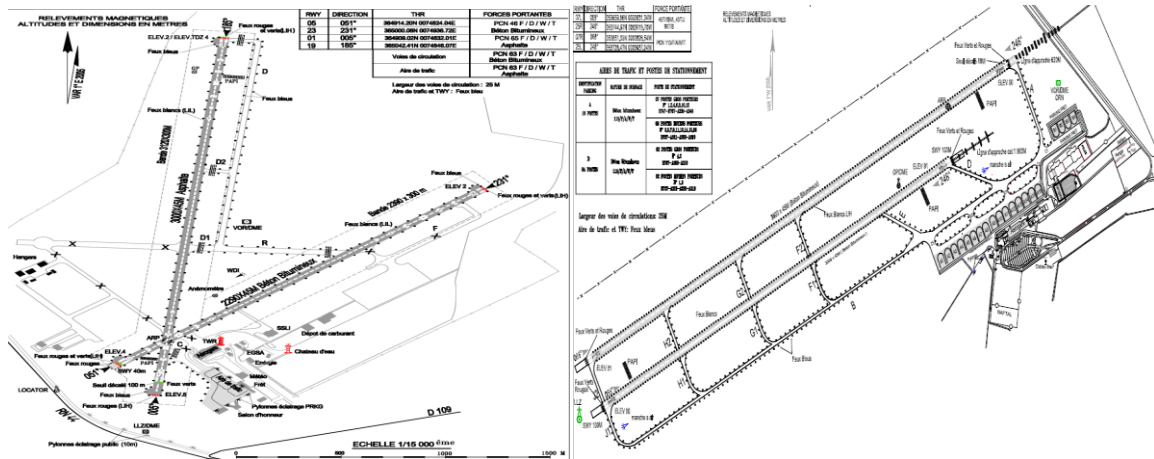
- **Les pistes**

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.

Le système de pistes et de voies de circulation doivent être intégrés de façon à :

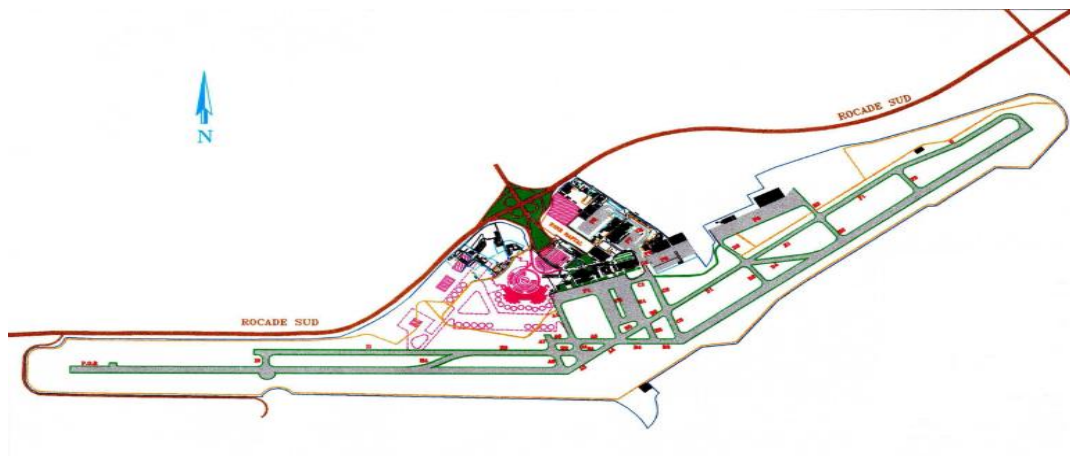
- faciliter la mise en œuvre de la capacité maximum du système des pistes,
- offrir un cadre pour une gestion fluide et sans congestion du trafic sol,
- présenter des chemins directs conduisant aux autres sous systèmes de l'aéroport,
- faciliter le dégagement de la piste à l'atterrissage,
- éviter d'avoir des voies de circulation qui croisent les pistes actives.

Quelle que exemples de configurations de systèmes de pistes d'aéroports exploitant une, deux ou plusieurs pistes sécantes :

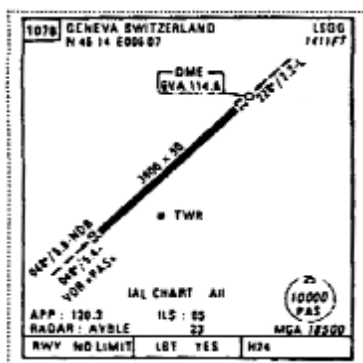


ANABA

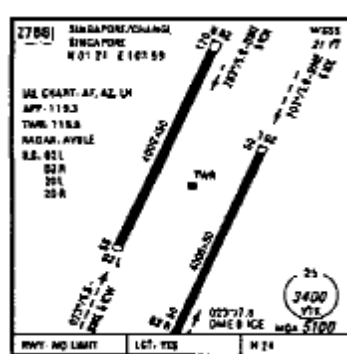
ORAN



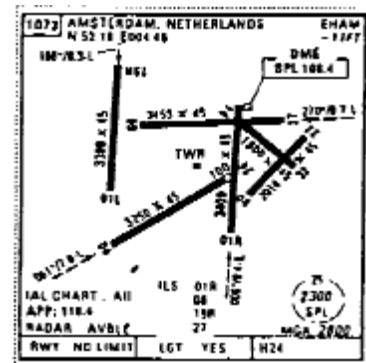
ALGER



Genève



Singapore



Amsterdam

Figure II.11 - Exemples réels de configurations de systèmes de pistes d'aéroports exploitant une, deux ou plusieurs pistes sécantes

II.3 Problèmes opérationnels de la circulation des avions au sol

Il existe une tendance à confondre les dangers avec leurs conséquences. Lorsque cela se produit, la description du danger en termes opérationnels reflète alors les conséquences plutôt que le danger lui-même. Autrement dit, il n'est pas rare de voir les dangers décrits comme leur(s) conséquence(s).

Énoncer et nommer un danger comme l'une de ses conséquences peut déguiser la vraie nature de ce danger et son potentiel dommageable, mais aussi compromettre l'identification d'autres conséquences importantes de ce danger.

Par contre, énoncer et nommer correctement les dangers permet d'identifier leur nature et leur potentiel dommageable, de déduire correctement leurs sources ou leurs mécanismes et, ce qui est le plus important, d'évaluer les résultats en termes d'ampleur de la perte potentielle, ce qui est un des objectifs ultimes de la gestion des risques de sécurité.

Les dangers peuvent être groupés en trois familles génériques : dangers naturels, dangers techniques et dangers économiques.

II.3.1 Les Problèmes liés à la météorologie

Les conditions météorologiques jouent un rôle important pour le bon déroulement des opérations sur la plate-forme aéroportuaire. Trois facteurs majeurs posent des problèmes pour le trafic sol : les vents traversiers, les précipitations et la visibilité.

- Les vents traversiers influent sur les atterrissages et les décollages. Le service météo de l'aéroport se doit d'informer les usagers de la direction et de l'intensité des vents traversiers.
- Les précipitations modifient l'adhérence des pneus, avec un impact direct sur la sécurité et la manœuvrabilité de l'avion. Les opérations sur la plate-forme aéroportuaire se déroulent jusqu'à un niveau limite des précipitations. Au delà de cette limite tout mouvement sera interdit. Les précipitations peuvent être sous forme de pluie, de neige, de glace etc. La formation de la glace pose des problèmes particuliers au moment du décollage. Pour combattre la formation et

le dépôt de glace sur les ailes des avions, des zones de dégivrage sont prévues sur les aires de trafic de certains aéroports.

- Les conditions de visibilité influent sur l'écoulement du trafic. La règle «vu et être vu» continue à être appliquée pour le contrôle de la circulation sur la plate-forme aéroportuaire. Les conditions de visibilité sont classées en quatre niveaux.

En ce qui concerne les manœuvres d'atterrissage et plus particulièrement d'atterrissage automatique, les conditions de visibilité peuvent être classées :

- CAT I : visibilité supérieure à 800m,
- CAT II : visibilité inférieure à 800m et supérieure à 400m, à partir de ce niveau des procédures spéciales sont appliquées pour la gestion de mouvement des avions au sol,
- CAT IIIA : visibilité inférieure à 400m et supérieure à 200m,
- CAT IIIB : visibilité inférieure à 200m et supérieure à 50m,
- CAT IIIC : visibilité inférieure à 50m.

II.3.2 Les problèmes liés aux performances des avions

Les performances des avions au sol sont caractérisées principalement par :

- Les vitesses de décollage et d'atterrissage et les durées d'occupation des pistes (en fait fonction de la masse de l'avion et des conditions météorologiques) ;
- La vitesse de déplacement de l'avion sur les voies de circulation (20 nœuds en général) ;
- Les temps et distances standards de freinage et d'accélération ;
- Les rayons de virage minimaux ;
- Les vitesses maximales en virage ;
- L'encombrement de l'avion (envergure et longueur) au roulage et au poste de stationnement ;
- Les capacités de manœuvre autonome au poste de stationnement ;
- La compatibilité avec les moyens d'embarquement/débarquement des passagers et du fret.

II.3.3 Solution aux problèmes

Pour éviter les problèmes liées à la circulation aérienne, les organes nationales des établissements de la navigation aériennes ont exigé certain règles à suivre.

➤ **Manœuvre des aéronefs:**

- Toute mise en route, mise en place ou départ devra être guidée par un personnel sol qualifié qui devra s'assurer au préalable :
 - Que toutes les consignes de sécurité édictées par l'exploitant sont respectées.
 - Que la zone intéressée par ces manœuvres est dégagée de tout obstacle.
- Les feux anticollisions de l'aéronef doivent être allumés quelques instants avant la mise en route, et durant le temps où les moteurs sont en fonctionnement.
- Le tractage des aéronefs, de jour comme de nuit, ne pourra s'effectuer, si la liaison Radio avec la Tour de contrôle n'est pas établie.

➤ **Manœuvres des véhicules:**

- Les conducteurs sont tenus d'observer les règles générales de la circulation édictée par le code de la route
- Le stationnement sur les cheminements est interdit
- Ne circuler pas en dehors des cheminements
- Les aéronefs sont toujours prioritaires sur tout autre mouvement
- Ne jamais couper la route à un aéronef
- Les bus passagers sont prioritaires sur les autres véhicules
- La conduite sous les ailes est strictement interdite
- L'exécution d'une marche arrière, ne se pratiquera sur les aires de trafic que guidée par une personne au sol.

II.4 L'enjeu du contrôle de trafic avion au sol

Les contrôleurs, sur les aéroports importants, ont des difficultés à maîtriser la situation qui s'avère critique face à l'augmentation du trafic et au nombre croissant de mouvements simultanés d'avions au sol.

Le contrôleur collecte les informations nécessaires à partir des observations et des comptes rendus météorologiques, des comptes rendus des pilotes et des observations visuelles ou radar des avions, des pistes, des voies de circulation et du trafic au sol. Il traite et combine ces informations et prend des décisions. Il met ces décisions en pratique en communiquant les informations appropriées et les instructions nécessaires aux pilotes par radio.

Le pilote et le contrôleur forment une boucle fermée de contrôle tout au long de la phase d'atterrissage et durant la phase de roulage jusqu'au point de stationnement de l'avion. Dans ce système, toutes les données et les informations sont perçues par des opérateurs humains (par des moyens visuels et audio), traitées par des opérateurs humains et traduites en action par des opérateurs humains. Ce type de contrôle ne suffira pas dans l'avenir, pour deux raisons principales :

- Le développement et l'utilisation des systèmes opérationnels d'atterrissage tous temps vont permettre d'effectuer des décollages et des atterrissages dans les conditions OACI des catégories IIIA et IIIB. La visibilité n'est plus alors suffisante pour que le contrôleur assure un écoulement sûr et rapide du trafic et la coordination optimale des mouvements simultanés des avions. Les pilotes ne disposent non plus d'une visibilité suffisante dans les conditions des catégories IIIA et IIIB pour rouler en sécurité et rapidement.
- L'augmentation du nombre de mouvements au sol oblige le contrôleur à intervenir en même temps dans plusieurs boucles (pilote-contrôleur) indépendantes tout en optimisant l'ensemble du trafic sol de manière à éviter les encombrements et les arrêts de la circulation, et en assurant un niveau élevé de la sécurité.

La sécurité demeure l'un des soucis essentiels et constants des services responsables du guidage et du contrôle de la circulation au sol. Pour cela Des systèmes ont été étudiés qui

permettraient au contrôleur de se décharger de certaines tâches secondaires pour se consacrer davantage à la sécurité et à la surveillance du trafic.

Ils ont prévus d'intégrés Des systèmes entièrement automatiques au dispositif global de contrôle.

II.5 Les différentes fonctions associées au contrôle du trafic sol (selon A/D d'Alger)

Les tours de contrôle d'aérodrome transmettront des renseignements et des autorisations aux aéronefs placés sous leur contrôle dans le but d'assurer l'acheminement sûr, ordonné et rapide de la circulation aérienne sur l'aérodrome ou aux abords de celui-ci, afin de prévenir les collisions entre :

- a. les aéronefs en vol dans la zone de responsabilité désignée de la tour de contrôle, y compris les circuits d'aérodrome ;les aéronefs évoluant sur l'aire de manœuvre ;
- b. les aéronefs en train d'atterrir ou de décoller ;
- c. les aéronefs et les véhicules évoluant sur l'aire de manœuvre ;
- d. les aéronefs sur l'aire de manœuvre et les obstacles se trouvant sur cette aire.

Les contrôleurs d'aérodrome surveilleront constamment tous les vols au-dessus de l'aérodrome ou aux abords de celui-ci ainsi que les véhicules et le personnel sur l'aire de manœuvre. Une veille sera maintenue par observation visuelle ; dans des conditions de faible visibilité, celle-ci sera renforcée au moyen d'un système de surveillance ATS, s'il y en a un de disponible. La circulation sera contrôlée selon les présentes procédures et selon les règles de l'air spécifiées par l'autorité ATS compétente. Si plusieurs aérodromes sont situés dans une même zone de contrôle, la circulation sera coordonnée entre tous les aérodromes de cette zone afin que les circuits d'aérodrome ne se gênent pas mutuellement.

Les fonctions d'une tour de contrôle d'aérodrome peuvent être assurées par différents postes de contrôle ou de travail, tels que :

- contrôleur d'aérodrome, normalement chargé des mouvements sur la piste et des aéronefs en vol dans la zone de responsabilité de la tour de contrôle d'aérodrome ;

- contrôleur sol, normalement chargé de la circulation sur l'aire de manœuvre, à l'exception des pistes ;
- poste de délivrance des autorisations, normalement chargé de la délivrance des autorisations de mise en route des moteurs et des autorisations ATC pour les vols IFR au départ.

II.6 Conclusion

Si sur le plan macroscopique, la plate-forme aéroportuaire peut être appréhendée comme un serveur traitant des flux d'avions à l'arrivée pour les réinjecter dans le trafic aérien la reliant aux autres plate-formes aéroportuaires, si l'on augmente le degré de l'analyse, on s'aperçoit très vite de la diversité des situations et des configurations existantes, associées à des degrés de complexité très variables dans la structure du trafic au sol. Devant tant de diversité, on mesure la difficulté à développer des concepts généraux de gestion de trafic sol, applicables dans toutes ces situations.

Chapitre III

Analyse de l'ensemble des problèmes de gestion du trafic au sol

Chapitre III

Analyse de l'ensemble des problèmes de gestion du trafic au sol

III.1 Introduction

Dans ce chapitre on aborde de façon globale l'analyse de l'ensemble des problèmes de gestion qui se posent aux contrôleurs dans le cadre de la planification opérationnelle. Et de proposé quelque outils qui aident le contrôleur dans sa gestion du trafic.

Trois de ces problèmes seront analysées d'une façon précise.

III.2 Problèmes de gestion du trafic avion au sol

La gestion du trafic au sol des aéronefs consiste à prendre les décisions tactiques qui vont fixer le cadre opérationnel du contrôle du trafic au sol. Celle-ci concerne simultanément la gestion des arrivées et des départs. A partir d'informations sur la situation courante et des prévisions de trafic, il s'agit de définir ou de redéfinir les paramètres conditionnant le déplacement des aéronefs au sol.

Pour la gestion des arrivées, les informations suivantes sur chaque avion à l'arrivée doivent être disponibles :

- La piste d'atterrissage prévue et l'instant d'atterrissage. Cette information est fournie par le système de contrôle de trafic aérien qui en coordination avec le système de gestion au sol apporte en ligne des solutions à ce problème (Problème P0). Sa précision, notamment en ce qui concerne l'instant d'atterrissage dépend fortement de l'horizon de prévision.

- Le poste, ou la zone des postes de stationnement prévue, cette information pouvant être donnée par la compagnie aérienne opérant l'aéronef si celle-ci dispose de créneaux de stationnement et gère ceux-ci ou sinon par le système de gestion du trafic au sol.

Il s'agira donc éventuellement de choisir d'abord un poste de stationnement (Problème P1), puis de déterminer un itinéraire entre la sortie de piste et celui-ci (Problème P2).

Pour la gestion des départs les informations suivantes sur chaque avion au départ doivent être disponibles :

- Le poste de stationnement
- L'heure programmée de départ

Ces informations sont disponibles auprès de la compagnie aérienne et doivent être regroupées au niveau du système de gestion du trafic au sol.

Les problèmes de décision à résoudre sont les suivants :

Pour chaque avion prévu au départ, il s'agira de faire les choix suivants :

- Choix de la piste de décollage (Problème P3),
- Choix de l'instant de sortie du poste de stationnement (Problème P4)
- Choix de l'itinéraire entre le poste de stationnement et la piste (Problème P5).

L'ensemble de ces problèmes présente des interdépendances résultant des relations de succession entre certaines décisions et des interactions des flux au niveau des voies de circulation, de stationnement et de la piste.

On peut donc dresser le tableau suivant :

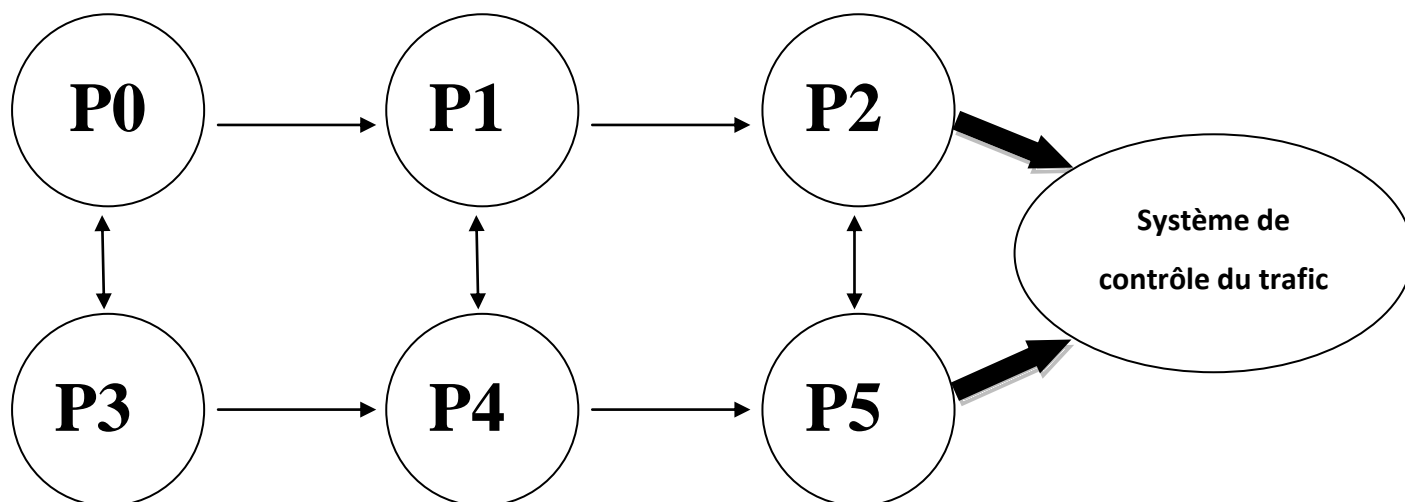


Figure III.1: Interdépendances entre problèmes de gestion et de contrôle du trafic au sol des aéronefs

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.

III.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 aident 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.
- Le 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 ;

III.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 à l'arrivée :

Problèmes (P0) : choix de piste et l'instant d'atterrissage

Problèmes (P1) : choix de poste de stationnement

Problèmes (P2) : détermination de l'itinéraire d'aéronef

(Piste ———▶ Poste de stationnement)

- Problèmes de gestion de trafic au départ :

Problèmes (P3) : choix de piste de décollage

Problèmes (P4) : choix de l'instant de sortie de poste de stationnement

Problèmes (P5) : détermination de l'itinéraire d'aéronef

(Poste de stationnement → Piste)

III.3.1 L'analyse du problème (P0)

Pour les aéroports qui sont soumis à un fort trafic, le problème d'ordonnement des atterrissages est un problème critique car, il conditionne la capacité globale de l'aéroport.

Le but est d'analyser le problème de la gestion des atterrissages des avions arrivant vers une plate-forme aéroportuaire comprenant une ou plusieurs pistes, pour faire atterrir dans les meilleures conditions possibles un flux maximum d'avions incidents vers l'aéroport et ses pistes.

Le problème (P0) se place entre le trafic au sol et le trafic aérien. Il pose donc le problème de la coordination entre les systèmes de gestion du trafic au sol et du trafic aérien. Pour cela il faut des outils qui aident le contrôleur de trafic aérien dans sa gestion de la transition entre la route et l'approche comme MAESTRO.

III.3.1.1 Cas d'une seule piste d'atterrissage

Si on considère le problème (P0) comme celui de la minimisation des écarts entre les instants d'atterrissage et les instants prévus sous les contraintes de séparation temporelle et de respect des créneaux d'atterrissage, donc il suffit de trouver le temps d'occupation de piste (TOP) à l'atterrissage pour une seule piste, donc le problème se révèle relativement simple.

Le temps d'occupation de piste (TOP) à l'atterrissage est le temps compris entre les deux événements suivants :

- a. l'avion passe au-dessus du seuil de piste,
- b. l'avion quitte la piste et passe le point situé à 90 mètres de l'axe de piste (il dégage les servitudes).

III.3.1.2 Cas de deux pistes d'atterrissage

Par contre si on considère le problème dans le cas de deux pistes d'atterrissage sa complexité croît très fortement.

Le problème d'ordonnancement à court terme (sur un horizon d'une demi-heure) des atterrissages des avions sur un aéroport où fonctionnent deux pistes d'atterrissage à été considéré. Il s'agit ici aussi d'optimiser les instants d'atterrissage de chaque avion dans une fenêtre prédéterminée de temps en essayant de coller au mieux aux instants d'atterrissage programmés.

III.3.2 L'analyse du problème (P1)

Le problème de la gestion des postes de stationnement des avions est un problème qui consiste à assigner à chaque avion à l'arrivée un poste ou une zone de stationnement compatible avec ses caractéristiques opérationnelles et commerciales. Il s'agit non seulement de satisfaire des contraintes de séparation entre avions de types variés dans la zone de manœuvre et aux postes de stationnement voisins, mais aussi d'éliminer toutes les situations potentielles de conflit avec les autres avions tant à l'arrivée comme au départ de cette zone

Les principaux types de confits présents dans les zones de manœuvre au voisinage des postes de stationnement sont représentés ci-dessous :

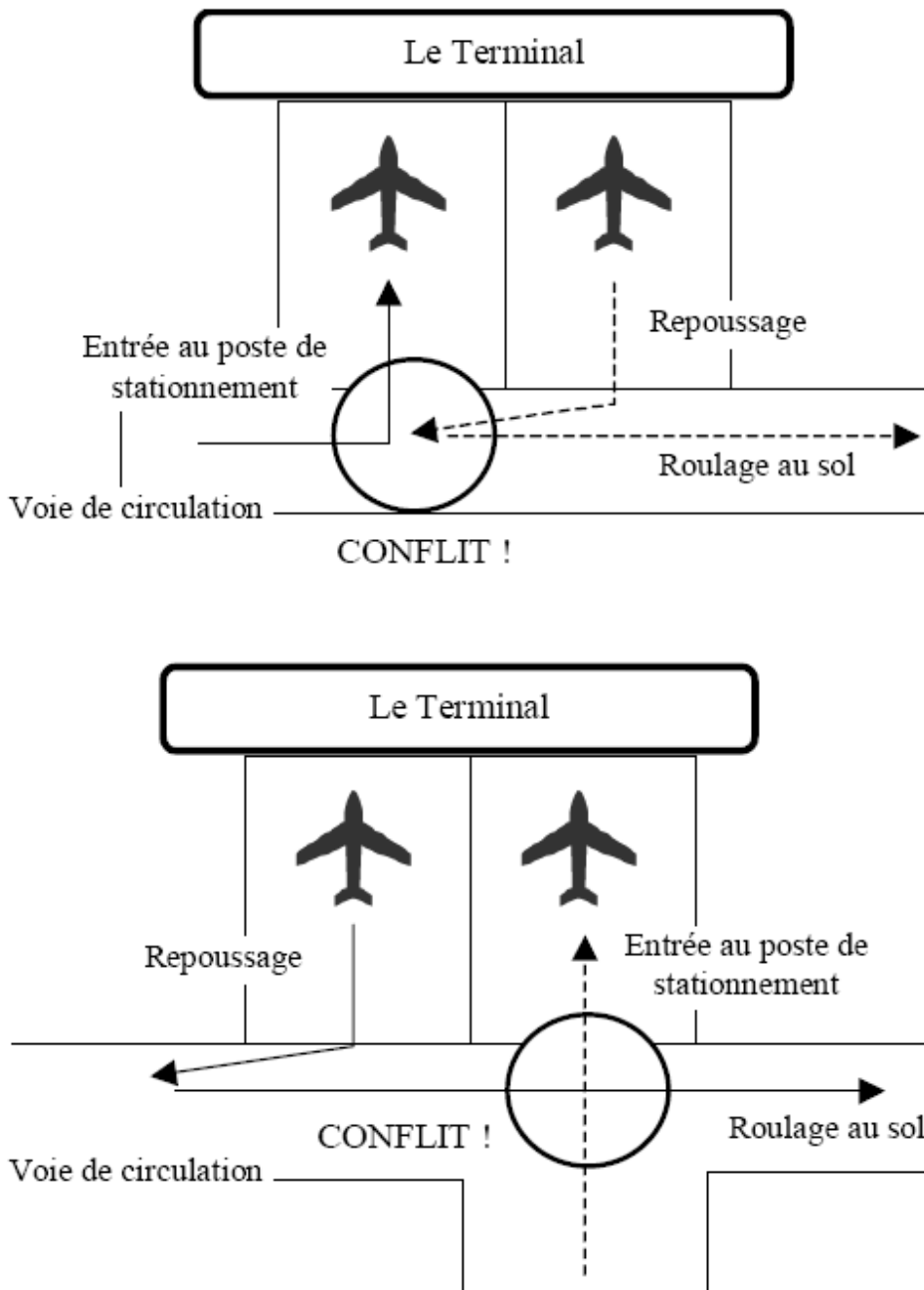


Figure III.2 : Exemple de conflits entre avions dans la zone de stationnement

III.3.3 l'analyse du problème (P5)

Il s'agit de définir pour chaque avion un chemin entre son poste de stationnement et la piste de décollage.

Différents critères permettent de comparer l'ensemble des chemins qui relient l'origine et la destination d'un déplacement :

- La longueur du chemin,
- La durée prévue (déplacement et attentes intermédiaires),
- La complexité du chemin aussi bien du point de vue du pilote que du contrôleur,

Le contrôleur ne peut pas choisir les chemins des différents avions présents sur la plateforme aéroportuaire indépendamment, il le fait simultanément sur un ensemble d'aéronefs qui se présentent au départ des postes de stationnement. En effet, l'ensemble de ces aéronefs vont interagir entre eux et avec ceux qui sont déjà présents sur les voies de circulation. Il s'agira donc pour le contrôleur de fixer tous ces chemins en essayant de satisfaire globalement l'un des critères évoqués à la section précédente tout en tenant compte des normes de séparation entre avions et en évitant les situations de conflit.

Les principales situations de conflit rencontrées sur les voies de circulation d'un aéroport :

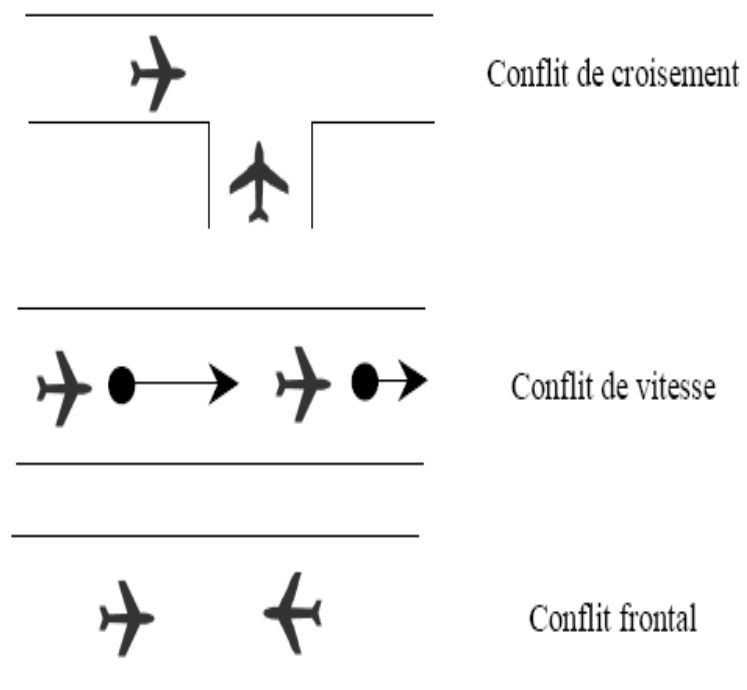


Figure III.3: Les principaux types de conflits sur les voies de circulation

III.4 Conclusion

Une bonne capacité de concentration est exigée, mais il faut aussi, comme dans beaucoup d'autres métiers de l'aéronautique, de la rigueur et le sens des responsabilités, ainsi que la capacité à prendre rapidement des décisions. Une très bonne résistance nerveuse s'avère nécessaire : la panique n'a pas sa place dans ce type de métier, donc il faut éviter la charge de travail qui cause le stress et la panique du contrôleur.

Pour cette raison, il ne faut pas dépasser la capacité maximale du contrôleur. Pour qu'il peut mieux gérer les aéronefs qu'ils ont sous sa responsabilité, et pour cela il faut automatiser le système de service de contrôle en utilisant les outils automatisés de gestion de trafic.

Chapitre IV

La capacité aéroportuaire

Chapitre IV

La capacité aéroportuaire

IV.1 Introduction :

Les études de capacité aéroportuaire ont pour objet l'évaluation des performances d'un aéroport, notamment par la détermination du débit maximal du trafic qu'il est en mesure d'écouler dans des conditions satisfaisantes pour les exploitants. Elles peuvent également évaluer, y compris du point de vue environnemental, certains concepts innovants modifiant les règles d'exploitation. Ce débit est habituellement exprimé en nombre de mouvements d'avions ou de passagers par unité de temps.

La capacité aéroportuaire constitue un élément d'aide à la décision dans le cadre de la planification de l'infrastructure et dans celui de la coordination des aéroports.

IV.2 Généralités sur la capacité aéroportuaire

La capacité de l'aéroport est celle du maillon le plus faible de la chaîne aéroportuaire. La capacité doit donc faire l'objet d'une analyse globale sur l'ensemble des maillons de cette chaîne, à savoir : l'espace aérien terminal, le système de piste(s), les voies de circulation, l'aire de stationnement des avions.

IV.2.1 Les définitions de la capacité

Définition générale de la capacité :

La capacité aéroportuaire est le nombre de demandes qui peut être traité pendant une période donnée par un ensemble d'installations aéroportuaires étant données une qualité de service retenue et la nature et le volume d'offres proposées

a. La capacité déclarée

Elle fixe le débit maximal du trafic qu'un aéroport est en mesure d'accepter, en prenant en compte l'ensemble des éléments de la chaîne aéroportuaire ainsi que de certaines contraintes extérieures (principalement la protection des riverains et les interférences avec le trafic d'un autre aéroport). Il s'agit d'une valeur représentant un objectif affiché par un aéroport. Elle est déclarée est fixée par les autorités aéroportuaires et elle est nécessairement inférieure ou égale à la capacité technique.

b. La capacité technique

C'est le nombre de demandes pouvant être traitées dans une période de temps avec une infrastructure donnée, en respectant la réglementation et compte tenu de contraintes et d'exigences de ponctualité des vols.

Les demandes peuvent aussi bien correspondre à un nombre de mouvements sur une piste qu'au taux d'occupation de postes de stationnement ou encore à l'utilisation d'aires de dégivrage, etc.

La période de temps choisie peut aller de la minute à l'année selon le problème traité.

La détermination de la capacité technique dépend:

- ✓ d'une pointe de trafic donnée caractérisée par sa durée et sa structure (typologie des avions, mélange arrivé/départs);
- ✓ des pratiques d'utilisation du système de piste(s), qui dépendent de la qualité de son alimentation, des marges de sécurité;
- ✓ d'un niveau de qualité de service (retard moyen des vols) acceptable pour les exploitants.

La capacité du système aéroportuaire, résulte de façon complexe de la capacité de chacun de ses sous systèmes : les postes de stationnement, les voies de circulation et les pistes. La connexion entre la capacité de chaque sous système dépend non seulement de la configuration des interfaces de ceux-ci mais aussi des pratiques opérationnelles mises en œuvre et il n'existe pas une formule unique permettant de calculer la capacité globale du système aéroportuaire.

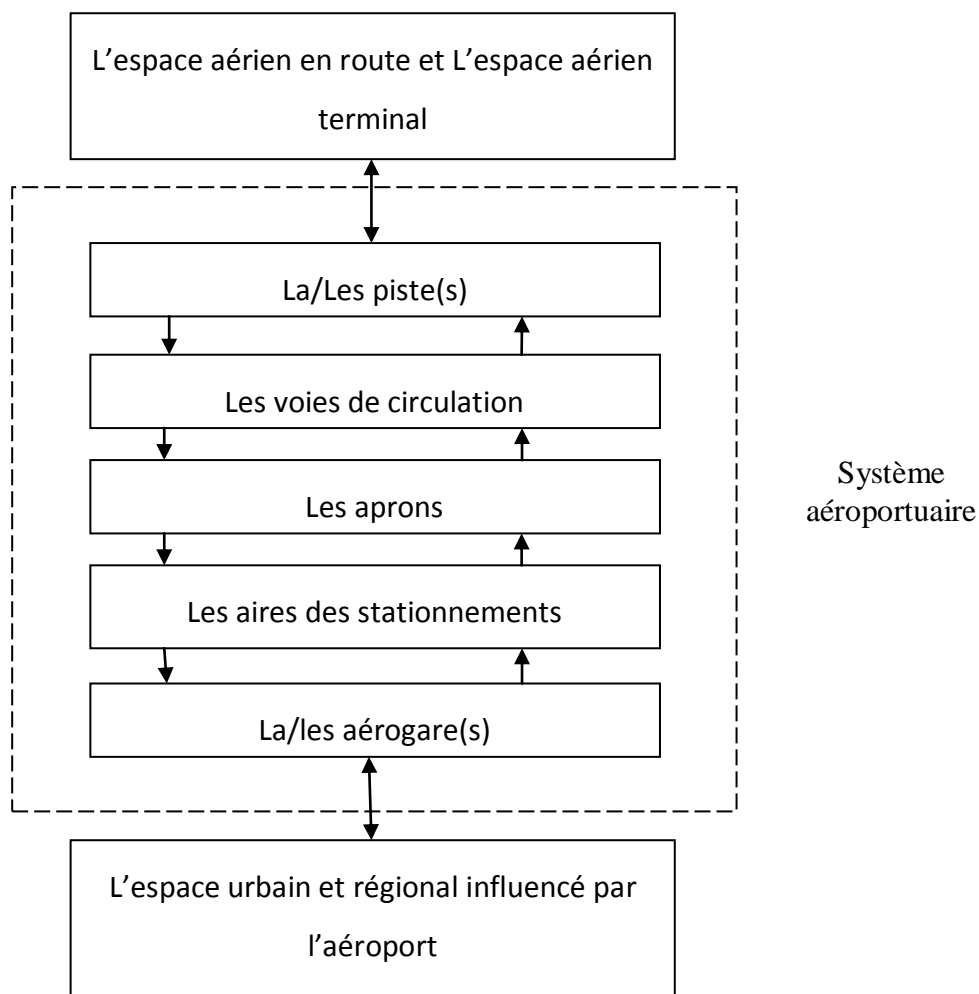


Figure IV.1 : Système aéroportuaire

En règle générale, il est considéré que la capacité pratique du système aéroportuaire est donnée par la capacité technique de la composante qui paraît être la plus critique (théorème de Ford et Fulkerson).

IV.2.2 Capacité du système de piste(s)

Le système de piste(s) constitue en général l'élément limitant de la capacité aéroportuaire en raison de sa fonction particulière: permettre aux avions d'atterrir et de décoller en toute sécurité.

Sa capacité tient compte de trois éléments principaux :

- ✓ la structure du trafic aérien;
- ✓ la gestion du trafic par le service de la navigation aérienne;
- ✓ les caractéristiques géométriques de l'infrastructure.

IV.2.3 Les facteurs influant sur la capacité du système de piste(s)

La notion de capacité permet de quantifier les limites de tout système offrant à des usagers un service partagé. Elle se définit par la demande ne devant pas être dépassée pour que le service effectif rendu par le système corresponde à l'attente des usagers. Les facteurs influençant cette capacité seront scindés en deux classes : une qui regroupe les facteurs qui ont un impact sur le temps d'occupation du système et celle de ceux qui influent sur la fréquence d'apparition dans le système.

a. Facteurs qui ont un impact sur le temps d'occupation du système

- Les infrastructures de l'aéroport sont un premier facteur influençant la capacité. Le dispositif de piste (taille, nombre, disposition et équipement des pistes) est généralement considéré comme le point le plus sensible, mais l'impact des autres installations ne doit pas être négligé. La diversité et la disposition des aires de trafic ou des voies de circulation (taille, accessibilité, équipements) influencent fortement les temps de roulage et peuvent être limitatifs pour certains types d'avion.
- La composition du trafic est également un facteur de première importance. La classification de l'aéroport détermine la nature des vols autorisés, en fonction de leur vitesse d'approche et de leurs objectifs (commercial, court ou long courrier), ce qui fixe indirectement l'ordre de grandeur de la capacité de l'aéroport et de l'aire de mouvement en particulier.

b. Facteurs qui ont un impact sur la fréquence d'apparition dans le système

- Les procédures d'exploitation des aires de trafic et des voies de circulation (qui doivent être conformes aux règles de circulation), peuvent s'avérer plus ou moins efficaces en termes de retards générés. Sur ce point, la compétence

technique des contrôleurs et des équipages (connaissance de la plateforme et de l'avion, séquence des actions et aptitudes à collaborer) peut jouer un rôle considérable.

- La répartition du trafic dans le temps agit aussi sur l'efficacité du système à le traiter. Ainsi, selon l'intervalle de temps correspondant à la pointe du trafic, la capacité sera plus ou moins grande.

Par ailleurs, d'autres facteurs extérieurs au système aéroportuaire agissent sur les deux groupes de facteurs. Ce sont entre autres :

- des problèmes environnementaux (écologie et gestion des nuisances sonores),
- des politiques douanières et policières (anti-terrorisme notamment),
- les phénomènes météorologiques dangereux (orages, brouillard, grêle, neige),
- les stratégies des autres aéroports et des autres compagnies.

IV.3 présentation de l'état de l'art actuel des méthodes d'évaluation de la capacité de l'aire de mouvement

La détermination de la capacité d'un module de stockage ne pose pas de gros problèmes. Par contre, il est plus délicat de déterminer la capacité d'un système aéroportuaire où s'écoulent des flux de trafic, dès lors que la présentation de ces flux à l'entrée du système est aléatoire. Cependant et suivant son importance, les conditions et le temps dans lesquels le système aéroportuaire va être écoulé seront différents.

Pour cela plusieurs systèmes de calcul de la capacité aéroportuaire ont été élaborés, on va présenter quelques modèles théoriques utiliser pour le calcul de la capacité aéroportuaire.

IV.3.1 Modèle de détermination de la capacité aéroportuaire

La NASA a développé un modèle pour l'évaluation de la capacité associée aux pistes d'un aéroport (ASAC : Aviation System Analysis Capability). Ce modèle est destiné à estimer

la capacité d'un aéroport en fonction des conditions météorologiques, des procédures de gestion du trafic, de la demande du trafic et du niveau d'équipement de l'aéroport. La capacité est représentée comme la frontière de Pareto des flux des départs et des arrivées par période de temps. La durée de cette période peut varier de 15 à 60 minutes. Cette frontière est la limite supérieure au delà de laquelle les nombres de départs et d'arrivées ne peuvent plus être augmentés simultanément.

✓ **Le principe du modèle ASAC :**

Ce modèle est basé sur la théorie des files d'attente, les arrivées étant supposées être aléatoires. Les paramètres du modèle comprennent les séparations standards au niveau des opérations sur la piste, les temps d'occupation de piste, le temps de réponse du contrôleur de trafic sol et d'autres règles imposées par les opérations dans des mauvaises conditions de visibilité. Le modèle reprend les incertitudes de la position et de la vitesse d'avion en vol dans la phase d'approche finale. Ces incertitudes influent sur les marges adoptées dans les contraintes de séparation entre les avions. D'autres incertitudes prises en compte par le modèle sont celles dues aux délais de communication et à la distribution de la vitesse du vent.

L'évaluation de la capacité des pistes est réalisée à l'aide d'un module d'estimation des délais, et plus particulièrement des délais d'arrivées.

IV.3.2 Une approche statistique globale

En général, les études développées dans un sens statistique ont un caractère global compte tenu de la forte interaction entre les flux d'arrivée et de départ sur une ou plusieurs pistes. Il serait difficile d'en séparer les causes et les conséquences sur la capacité de chacun.

Nous citons ainsi l'approche statistique globale présentée par Gilbo (1993). La méthode utilisée consiste à estimer la courbe de capacité de l'aéroport en considérant conjointement le nombre d'arrivées et de départs par période de 15 minutes. Cette méthode est fondée sur l'hypothèse selon laquelle pendant la période considérée, les arrivées et les départs observés pendant les heures de pointe reflètent la performance de l'aéroport à son niveau maximum de capacité. Par conséquent, la courbe enveloppant les données observées est

considérée comme une évaluation de la capacité de l'aéroport. Les données observées sont organisées selon les conditions de fonctionnement de l'aéroport afin de fournir des courbes de capacité pour différentes conditions spécifiques associées à des configurations de piste et de conditions météorologiques différentes. On suppose que l'aéroport utilise un ensemble limité de configurations de pistes avec une fréquence suffisante pour retirer des données statistiques en nombre suffisant afin d'estimer valablement les courbes de capacité. Les conditions atmosphériques sont groupées par catégories opérationnelles, reflétant ainsi les limitations conventionnelles de visibilité et de plafond. Des courbes de capacité peuvent alors être obtenues pour ces différentes conditions atmosphériques. La méthode considère à la fois le planning des arrivées/départs et l'ensemble des arrivées et des départs observés pendant des intervalles de 15 minutes sur une longue période (par exemple un mois ou plus). Les coordonnées de chaque point montrent le nombre d'arrivées et de départs effectués pendant le même intervalle de 15 minutes. La courbe de capacité est estimée en traçant une enveloppe convexe et linéaire par morceaux, pour couvrir l'ensemble de ces points. On en déduit une relation implicite reliant le nombre maximum de départs possibles au nombre d'arrivées.

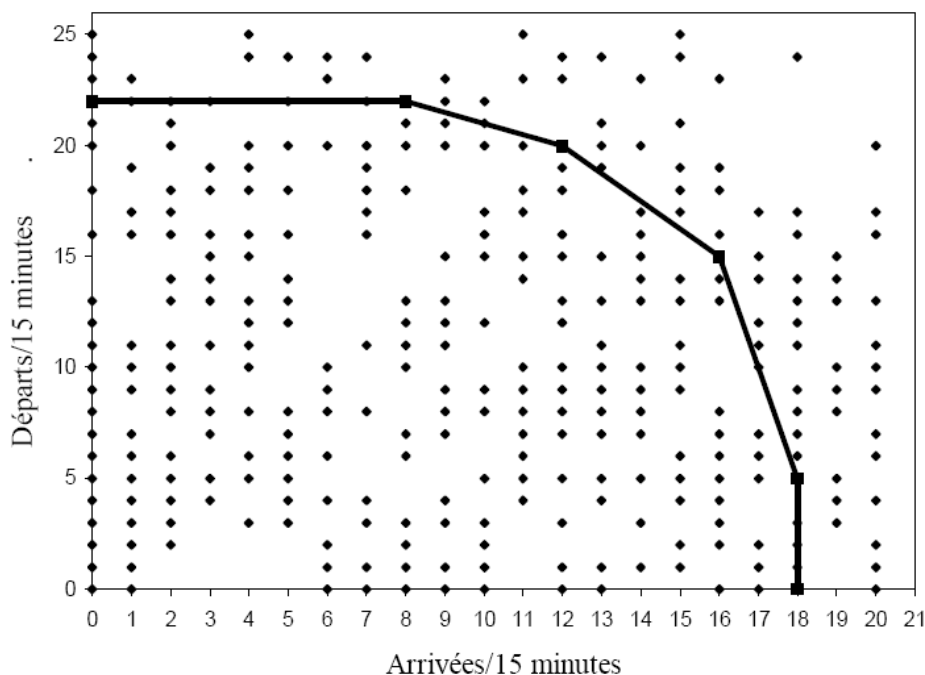


Figure IV.2 : L'estimation de la capacité pratique selon Gilbo

La méthode précédente proposée par Gilbo élimine certaines valeurs extrêmes observées qui reflètent des événements rares pendant lesquels un aéroport fonctionne au-delà de ses limites opérationnelles normales, c'est-à-dire pendant une période de temps très courte, dans des conditions pouvant éventuellement mettre en jeu la sécurité des opérations. Les critères de rejet sont :

- la proximité des observations extrêmes aux observations les plus fréquentes
- la fréquence relative de ces observations extrêmes.

Dans son approche, Gilbo ne tient pas compte du fait que très souvent les atterrissages présentent un caractère prioritaire par rapport aux décollages. Aussi semble-t-il judicieux d'établir pour un niveau d'atterrissage donné la distribution des fréquences de décollage des aéronefs.

IV.3.3 Modèle proposé par la DGAC- STAC, France

Un modèle d'évaluation de la capacité d'un système de piste a été proposé par le STAC. Le principe de calcul est basé sur l'application de la théorie de files d'attente à une seule piste. Quatre types de séquences d'opérations sont considérés : atterrissage suivi d'atterrissage, atterrissage suivi de décollage, décollage suivi d'atterrissage et décollage suivi de décollage. La capacité horaire CH (nombre maximum moyen d'avions par heure qui peuvent être servis par la piste) y est donnée par la formule empirique:

$$CH = \frac{1}{t_{AA} \cdot P^2 + (t_{AD} + t_{DA})P(1 - P) + t_{DD}(1 - P)^2}$$

Où :

- P est la proportion d'atterrissages sur les décollages ;
- tAA (respectivement tAD, tDA et tDD) est le temps moyen d'occupation de la piste pour une opération atterrissage-atterrissage, (respectivement atterrissage - décollage, décollage-atterrissage et décollage-décollage).

Les valeurs standards relatives à la formule sont :

- $60s < t_{AA} < 150s$
- $50s < t_{DD} < 90s$
- Et pour la Capacité Horaire (CH) doit être comprise entre 30 et 80 mouvements par heure.

IV.4 Calcul de la capacité des pistes de l'aéroport d'Alger (HOUARI BOUMEDIEN)

Nous avons choisi la formule proposée par la DGAC- STAC comme méthode de calcul de la capacité de piste(s) de l'aéroport d'Alger pour différentes raisons :

- son efficacité et la disponibilité de tous les paramètres nécessaires.
- les seuls facteurs restant à déterminer sont le temps d'occupation de piste pour les opérations atterrissage-décollage, décollage-atterrissage.
- Les méthodes (ASAC : Aviation System Analysis Capability) et l'approche statistique globale présente une difficulté mathématique et technique
- Les facteurs nécessaires à l'application de ces deux formules sont difficilement à avoir même au auprès des autorités compétentes d'aéroport d'Alger

Toutes ces raisons nous ont poussées à choisir cette méthode tout en respectant la fiabilité du calcul ainsi que l'efficacité des résultats données.

IV.4 .1 Calcul du temps d'occupation de piste (TOP)

IV.4.1.1 Temps d'occupation de piste au départ (atterrissage-décollage) :

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

- Hypothèses :

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

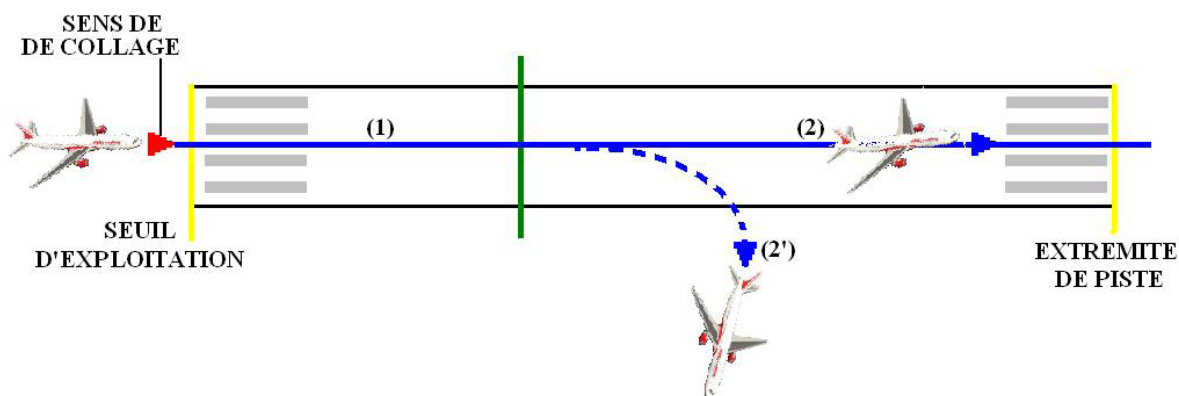


Figure IV.3 : Schéma de principe de calcul de TOP en cas de départ

Le temps mis par un avion pour passer de la vitesse V_1 (en Kts) à la vitesse V_2 à accélération constante sur une distance D (en m) 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 :

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

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

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

- Formule numérique du TOP de décollage :

$$TOP = \underbrace{4D_d / V_d}_{(1)} + \underbrace{2(L - D_d) / V_d}_{(2)} \quad \text{ou : (Si décollage dans l'axe de piste)}$$

$$TOP = \underbrace{4D_d / V_d}_{(1)} + \underbrace{T_{dv}}_{(2')} \quad \text{ou : (Si virage dégagement avant l'extrémité de piste)}$$

Avec :

L (en mètres) = longueur de piste.

Dd (en mètres) = distance de décollage

Vd (en mètres) = vitesse de décollage

Tdv = temps de dégagement en vol de l'axe de piste

IV.4.1.2 Temps d'occupation de piste à l'arrivée (décollage-atterrissage) :

Une autorisation d'atterrissage ne peut être délivrée à un aéronef si un aéronef à l'arrivée qui le précède n'a pas dégagé la piste en service, hormis le cas où les espacements peuvent être réduits.

- Hypothèses :

Le temps d'occupation de piste à l'arrivée (**TOP**) et les données nécessaires à son calcul dépendent du type d'avion considéré. Chaque type d'avion est affecté à une bretelle de sortie.

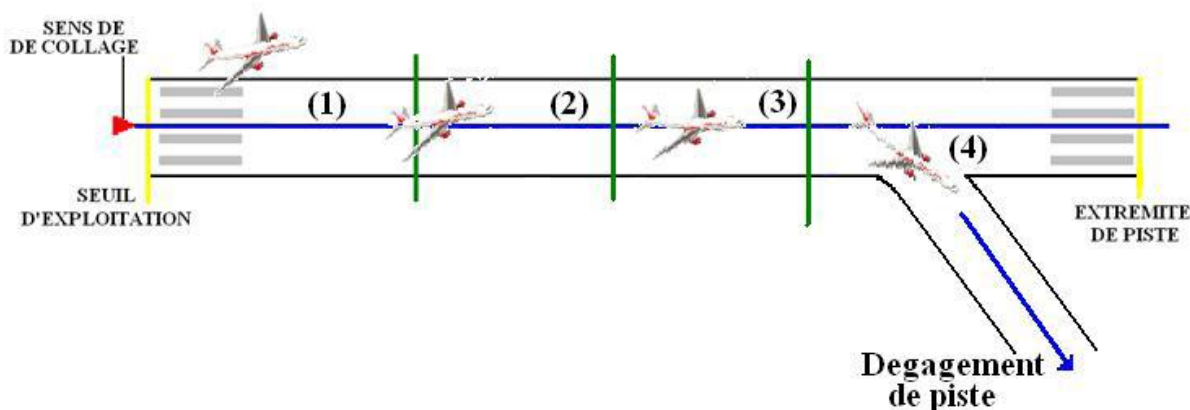


Figure IV.4 : Schéma de principe de calcul de TOP en cas d'arrivée

(1) : Survol de la piste à décélération constante (de la vitesse de passage au seuil à la vitesse de toucher des roues) du seuil d'exploitation au point de toucher des roues

(2) : Roulage à vitesse constante (vitesse de toucher des roues) pour stabiliser l'avion

(3) : Freinage à décélération constante (de la vitesse de toucher des roues à la vitesse de sortie) jusqu'à la sortie de piste

(4) : Roulage à vitesse constante (vitesse de sortie) de l'axe de piste au point de dégagement

- Formule numérique du TOP d'atterrissage :

$$\text{TOP} = \underbrace{4D_s / (V_s + V_t)}_{(1)} + \underbrace{2 D_s t / V_t}_{(2)} + \underbrace{4 (db - D_{st} - D_s) / (V_t + V_S)}_{(3)} + \underbrace{2 \text{ dag. Sin (axe, bretelle) / VS}}_{(4)}$$

Avec :

V_s (en Kts) = vitesse de passage au seuil d'exploitation

D_s (en mètres) = distance de vol du seuil d'exploitation au point de toucher des roues

V_t (en Kts) = vitesse de toucher des roues

D_{st} (en mètres) = distance nécessaire à la stabilisation de l'avion

db (en mètres) = distance du seuil d'exploitation à la bretelle de sortie à laquelle l'avion est

affecté **dag** (en mètres) = distance perpendiculaire entre l'axe de piste et le point de dégagement

Sin (axe, bretelle) = sinus de l'angle entre l'axe de piste et la bretelle de sortie

V_S (en Kts) = vitesse de sortie

V_r (en Kts) = vitesse de roulage sur la piste

IV.4.2 application numérique sur le système aéroportuaire d'Alger « HOUARI BOUMEDIEN »

IV.4.2.1 Collection des paramètres de calcul :

- Valeurs caractéristiques de la vitesse d'approche :

Les vitesses moyennes sur la trajectoire d'approche finale des différents types d'aéronefs, extraites des manuels de vol ou d'exploitation.

Tableau IV.1 : Vitesse moyenne en finale (kts)

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Vitesse Moyenne en final (Kts)	90	120	150	160

Source : Manuel d'identification des avions

Avec : Type 1 d'A/C : A/C avec une masse de roulage < 7 tonne

Type 2 d'A/C : A/C avec une masse de roulage comprise entre 7 et 40 tonnes

Type 3 d'A/C : A/C avec une masse de roulage comprise entre 40 et 136 tonnes

Type 4 d'A/C : A/C avec une masse de roulage > 136 tonnes

- Longueur des pistes :

Les 2 pistes ont une longueur de 3500 m (L = 3500 m).

- Le temps moyen de dégagement avant l'extrémité des pistes :

« Tdv = 30 secondes » pour tous les types d'avion.

- Les distances de décollage
- vitesses de décollage
- Les sorties des pistes

Chaque piste contient une sortie rapide et des sorties droites :

- **Piste 23** : 3 sorties droite (F2, G2, et D2) et 1 sortie rapide (D4).

On a pour les différents dégagements les valeurs suivantes :

Dégagement par F2 :

$db = 1200$ m VS = 10 kts angle (axe, bretelle) = 90°

Dégagement par G2 :

$db = 1950$ m VS = 10 kts angle (axe, bretelle) = 90°

Dégagement par D2 :

$db = 2665$ m VS = 10 kts angle (axe, bretelle) = 90°

Dégagement par D4 (S. G. V) :

$db = 2088$ m VS = 55 kts angle (axe, bretelle) = 30°

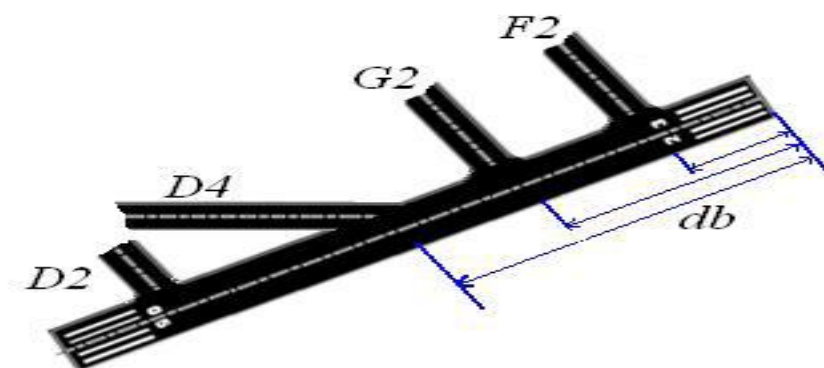


Figure IV.5 Piste 23 de l'aéroport d'Alger

- **Piste 09** : 1 sortie droite (12) et 1 sortie rapide (H4).

On pour les différents dégagements les valeurs suivantes :

Dégagement par 12 :

db = 1230 m VS = 10 kts angle (axe, bretelle) = 90°

Dégagement par H4 (S. G. V) :

db = 2352 m VS = 55 kts angle (axe, bretelle) = 30°

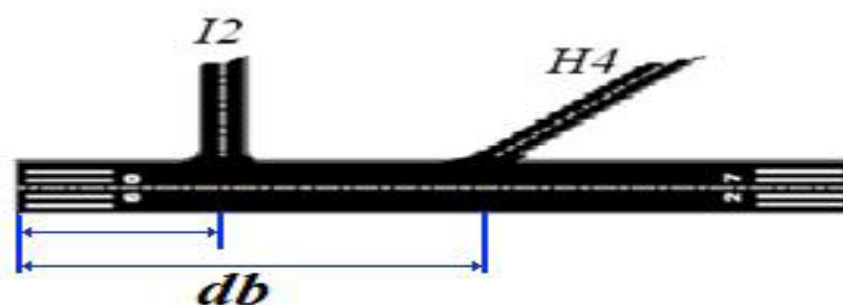


FIGURE IV.6 : piste 27 de l'aéroport d'Alger

- Valeurs caractéristiques

Tableau IV.2 : valeurs caractéristiques

Type D'Avion	Valeur	VS (Kts)	Ds (m)	Vt (Kts)	Dst (m)	Dag (m)	Vs (Kts) et Angle (axe, bretelle)	Vr (Kts)
Type1		75	200	70	175	90		15
Type2		105	400	100	250	90	10Kts si sortie droite (90°)	15
Type3		135	500	130	325	90	55Kts si sortie rapide a 30°	15
Type4		145	600	140	350	140		15

Source : Manuel d'identification des avions

IV.4.2.2 Application numérique :

A. Application numérique pour le décollage :

✚ décollage dans l'axe de piste :

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

<i>Type d'avion</i> \ <i>Valeur</i>	<i>Dd</i> (<i>m</i>)	<i>Vd</i> (<i>Kts</i>)	<i>TOP</i> (<i>s</i>)
<i>Type 1</i>	800	100	86
<i>Type 2</i>	1500	130	77
<i>Type 3</i>	1800	160	66
<i>Type 4</i>	2500	170	71

Tableau IV.3 : Valeurs du TOP Si le décollage est dans l'axe de piste

✚ dégagement avant l'extrémité de piste :

$$TOP = 4Dd / Vd + Tdv$$

<i>Type d'avion</i> \ <i>Valeur</i>	<i>Dd</i> (<i>m</i>)	<i>Vd</i> (<i>Kts</i>)	<i>Tdv</i> (<i>S</i>)	<i>TOP</i> (<i>s</i>)
<i>Type 1</i>	800	100	30	62
<i>Type 2</i>	1500	130	30	76
<i>Type 3</i>	1800	160	30	75
<i>Type 4</i>	2500	170	(*)	(*)

Tableau IV.4 : Valeurs du TOP Si virage de dégagement avant l'extrémité de piste

B. Application numérique pour l’atterrissage :

$$TOP = 4D_s / (V_s + V_t) + 2 D_{st} / V_t + 4 (db - D_{st} - D_s) / (V_t + V_S) + 2 \text{ dag. Sin} (\text{axe, bretelle}) / V_S$$

✚ atterrissage sur la piste 23 :

<i>Valeur</i> <i>Type D’Avion</i>	<i>TOP(s)</i> <i>(F2)</i>	<i>TOP(s)</i> <i>(G2)</i>	<i>TOP(s)</i> <i>(D2)</i>	<i>TOP(s)</i> <i>(D2) SGV</i>
<i>Type 1</i>	70	107	143	67
<i>Type 2</i>	51	78	104	515
<i>Type 3</i>	41	63	83	415
<i>Type 4</i>	48	68	87	39

Tableau IV.5 : le TOP à l’arrivée pour la piste 23

✚ atterrissage sur la piste 09 :

<i>Valeur</i> <i>Type D’Avion</i>	<i>Vs</i> <i>(Kts)</i>	<i>Ds</i> <i>(m)</i>	<i>Vt</i> <i>(Kts)</i>	<i>Dst</i> <i>(m)</i>	<i>Dag</i> <i>(m)</i>	<i>VS(Kts) et</i> <i>Angle</i> <i>(axe, bretelle)</i>	<i>Vr</i> <i>(Kts)</i>	<i>TOP</i> <i>(s)</i> <i>(F2)</i>	<i>TOP</i> <i>(s)</i> <i>(G2)</i>
<i>Type 1</i>	75	200	70	175	90	<i>10Kts si sortie</i> <i>droite (90°)</i>	15	71	75
<i>Type 2</i>	105	400	100	250	90		15	52	58
<i>Type 3</i>	135	500	130	325	90		15	42	48
<i>Type 4</i>	145	600	140	350	140	<i>55Kts si sortie</i> <i>rapide a 30°</i>	15	49	45

Tableau IV.6 : le TOP à l’arrivée pour la piste 09

IV.4.3 Calcul de la capacité

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

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

IV.4.3.1 Scenarios A

Pour déterminer la capacité, on applique la formule proposée par la DGAC 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 nous ont fourni le nombre maximum de mouvements dans une heure de pointe de chaque piste indépendamment Pour l'année 2012.

Tableau IV.7 : nombre des mouvements d'aéronefs dans une heure de pointe

Piste \ Mouvement	Atterrissage	Décollage
23-05	03	09
27-09	03	08

Source : Utilisation des pistes, année 2012

➤ Piste (23-05) :

On analysant le tableau IV.7, 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.

$t_{AA} : 150 \text{ S} ; TOPATT : 67 \text{ S} ; TOPDEP : 86 \text{ S} ; t_{DD} : 90 \text{ S}$

$$CH = \frac{3600}{t_{AA} \cdot P^2 + (TOPATT + TOPDEP)P(1 - P) + t_{DD}(1 - P)^2}$$

$CH_{type4} = 40 \text{ mvt /h}$

➤ Piste (27-09) :

On analysant le tableau IV.7, 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.

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

$$CH = \frac{3600}{t_{AA} \cdot P^2 + (TOPATT + TOPDEP)P(1 - P) + t_{DD}(1 - P)^2}$$

$CH_{type4} = 38 \text{ mvt /h}$

IV.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.

	Mouvement piste	Atterrissage	décollage
Configuration 01	09/27	09	
	05/23		05
Configuration 02	09/27		27
	05/23	23	

Tableau IV.8 : Utilisation des pistes d'aéroport d'Alger

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 où les décollages sont effectués dans une piste et les atterrissages dans l'autre piste.

Les autorités aéroportuaires nous 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.

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

$$CH = \frac{3600}{t_{AA} \cdot P^2 + (TOPATT + TOPDEP)P(1 - P) + t_{DD}(1 - P)^2}$$

$$CH_{type4} = 36 \text{ mvt /h}$$

Durant la période de stages qu'on a effectué au sein de la DSA, on a pu assister aux contrôleurs ou on a pris durant une heure de pointe les données qui apparaissent dans le tableau IV.8. On a remarqué que les atterrissages sont effectués dans la piste 09 et les décollages sont effectués dans la piste 05.

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

Tableau IV.8 : le départ et l'arrivée des aéronefs pendant 1h

On analysant le tableau IV.8, 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 : $P = 0,5$

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.

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

$$CH = \frac{3600}{t_{AA} \cdot P^2 + (TOPATT + TOPDEP)P(1 - P) + t_{DD}(1 - P)^2}$$

$$CH_{\text{type4}} = 36 \text{ mvt /h}$$

IV.4 Conclusion:

Les résultats des deux scénarios présentent une similarité idéale. La différence du nombre de la capacité horaire maximale de l'aéroport d'Alger entre le scénario A (38 mouvement par heure) et le scénario 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 scénario 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 scénario 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 annonce une capacité maximale moyenne de 25 mouvements par heure dans des bonnes conditions météorologique.

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.

ANNEXE A

A

A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control System
ATC	Air Traffic Control
ATFCM	Air Traffic Flow and Capacity Management
ADS-B	Automatic dependent surveillance-broadcast
A/D	Aerodrome
A/C	Aéronef
ATS	Air Traffic Services
ASAC	Aviation System Analysis Capability

B

BETA	operation Benefit Evaluation by Testing a A-SMGCS
------	---

C

CFMU	Central Flow Management Unit
CDM	Collaborative Decision Making
CH	nombre moyen d'avions par heure qui peuvent être servis par la piste

D

DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
DEFAMM	DEvelopment of demonstration Facilities for Airport Movement Guidance, control and Management
Dd	Distance de décollage
Ds	Distance de vol du seuil d'exploitation au point de toucher des roues
Dst	Distance nécessaire à la stabilisation de l'avion

Db Distance entre le seuil d'exploitation et la bretelle de sortie
Dag Distance perpendiculaire entre l'axe de piste et le point de décollage

E

ENNA Etablissement National de la Navigation Aérienne

ECAC European Civil Aviation Conference

I

IFR Instrument Flight Rule

K

Kts nœud

L

L Longueur de piste

N

NASA National Aeronautics and Space Administration

O

OACI Organisation de l'aviation civile internationale

P

P Proportion de nombre d'atterrissage des avions sur nombre de décollage des avions

S

SMC Surface Movement Control

SMA Surface Movement Advisor

SCA Service de la circulation aérienne

STAC Service technique de l'aviation civile
SMGCS Surface Movement Guidance and Control System

T

TARMAC Taxi Ramp Management And Control
TOP Temps d'Occupation de Piste
Tdv Temps de dégagement en vol de l'axe de piste

V

Vs Vitesse de passage au seuil d'exploitation
Vt Vitesse de toucher des roues
VS Vitesse de sortie
Vr Vitesse de roulage sur la piste
Vd Vitesse de décollage

ANNEXE B

Capacité de l'aéroport et de son espace aérien

Évaluation de la capacité par simulation en temps accéléré

Les études de capacité aéroportuaire ont pour objet d'évaluer les performances d'un aéroport, notamment par la détermination du débit maximal de trafic qu'il est en mesure d'écouler dans des conditions satisfaisantes pour les exploitants. Elles peuvent également évaluer, y compris du point de vue environnemental, certains concepts innovants modifiant les règles d'exploitation. Ce débit est habituellement exprimé en nombre de mouvements d'avions ou de passagers par unité de temps.

La capacité aéroportuaire constitue un élément d'aide à la décision dans le cadre de la planification de l'infrastructure et dans celui de la coordination des aéroports.

Qu'est-ce que la capacité aéroportuaire ?

La capacité aéroportuaire est celle du maillon le plus faible Capacité de l'aéroport dans son ensemble

La capacité de l'aéroport est celle du maillon le plus faible de la chaîne aéroportuaire. La capacité doit donc faire l'objet d'une analyse globale sur l'ensemble des maillons de cette chaîne, à savoir : l'espace aérien terminal, le système de piste(s), les voies de circulation, l'aire de stationnement des avions, l'aérogare (traitement des passagers) et même l'accès à l'aéroport (voies d'accès et parkings).

Capacité du système de piste(s)

Le système de piste(s) constitue en général l'élément limitant de la capacité aéroportuaire en raison de sa fonction particulière: permettre aux avions d'atterrir et de décoller en toute sécurité. Sa capacité tient compte de trois éléments principaux :

- ✓ La structure du trafic aérien;
- ✓ La gestion du trafic par le service de la navigation aérienne;
- ✓ Les caractéristiques géométriques de l'infrastructure.



BIBLIOGRAPHIE



- 1) DOC OACI 4444 : Gestion du trafic Aérien, Quinzième édition 2007.
- 2) Annexe 15 : Services d'information aéronautique, Treizième édition juillet 2010.
- 3) Thèse de DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE, « Analyse, représentation et optimisation de la circulation des avions sur une plate-forme aéroportuaire».réalisé par M. STOICA Dragos année 2004
- 4) Thèse Ingénieur, « Méthodologie d'évaluation de la capacité de l'aire de mouvement et gestion automatique de l'aire de trafic. Application à l'aéroport de Dakar».réalisé par Alidou SINARE, MOUSTAPHA Amadou. EAMAC - année 2007
- 5) Annexe 14 : Aérodromes Volume 1 cinquième édition 2009.
- 6) Manuel de référence pour la détermination de la capacité d'un aéroport - STAC mars 2007
- 7) Thèse Ingénieur exploitation, « Etude et évaluation de la capacité piste pour l'aérodrome HOUARI Boumediene d'Alger ».réalisé par Mr MERABET Sofiane et KAID Samir. Encadré par Mme BENKHEDDA, Université Saad Dahleb de Blida Département de l'Aéronautique, année 2007
- 8) .Annexe 5 : Unités de mesure à utiliser dans l'exploitation en vol et au sol cinquième édition 2010.
- 9) AIRPLANE CHARACTERISTICS FOR AIRPORT PLANNING 2005
- 10) AIP Algérie, Amendement 2012

Conclusion

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.

Une meilleure utilisation du réseau des voies de circulation et certaines solutions visant à réduire le temps de roulage pourraient y remédier à une meilleure gestion des trafics des aéronefs au sol.

Ceci passe sûrement par le développement de systèmes d'aide à la décision qui permettront d'améliorer, voire d'optimiser, l'écoulement du trafic sur la plate-forme aéroportuaire et dans son espace aérien immédiat.