

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement**  
**Supérieur et de la Recherche Scientifique**



**Université de Blida 1**  
**Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales**  
**Département de Navigation Aérienne**

**Option : Exploitation aérienne**

**Mémoire de Fin d'Etudes**  
**En vue de l'obtention du diplôme:**  
**MASTER ACADEMIQUE**

**Thème**

**Capacité du système pistes de l'aéroport d'Alger**  
**Houari Boumediene**

**Présenté par :**

**FERHAT Nesrine**

**Dirigé par :**

**M.HAMED ABDELOUAHAB Farouk**

**2015/2016**

## **Remerciement**

Je remercie Dieu le tout puissant qui m'a donné le courage et la volonté de mener à bien mon travail,

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Mr. Hamed Abdelouahab d'avoir accepté de diriger ce travail. Je le remercie pour le suivi qui m'a apporté, pour son aide et sa disponibilité.

Je remercie mes très chers parents, mes frères, ma sœur, et ma famille de m'avoir soutenu et supporter pendant mon cursus universitaire.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant mes recherches.

Je remercie très spécialement madame Bouguerra Chahrazed chef de service planification et statistiques de l'ENNA pour toutes les informations qu'elle m'a fournies pour sa gentillesse et disponibilité.

Enfin, je remercie également mes amis et collègues de l'Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales et toute personne qui m'a aidé de près ou de loin.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

## Résumé:

La capacité de l'aéroport est celle du maillon le plus faible de la chaîne aéroportuaire : système de piste(s), voies de circulation, aire de stationnement des avions, aérogare (traitement des passagers) et même accès à l'aéroport (voies d'accès et parkings).

Notre travail consistera à étudier l'un de ses éléments : LA CAPACITÉ DU SYSTÈME PISTES qui est en général un facteur limitant de la capacité aéroportuaire en raison de sa fonction particulière : permettre aux avions d'atterrir et de décoller en toute sécurité. L'analyse se fera pour l'aéroport d'Alger « Houari Boumediene ».

## Abstract:

The capacity of the airport is one of the weakest links in the chain of airport: runway(s) system, taxiways, aircrafts parking area, Terminal (passenger processing), and access to Airport (routes of access and car parks).

Our work is to study one of its elements: RUNWAYS SYSTEM CAPACITY which is typically a limiting factor of airport capacity due to its particular function: Allow aircraft to land and take off safely.

The analysis will be done about the airport of Algiers «Houari Boumediene».

## ملخص

تعتبر سعة المطار أضعف عنصر من سلسلة العناصر المكونة له: المدارج، الممرات، مواقف الطائرات، محطة الركاب وحتى الوصول إلى المطار (مسارات الوصول والمواقف)

مهمتنا تتمثل في دراسة أحد العناصر المذكورة سابقا: سعة المدارج، التي عادة ما تكون عاملا يحد من قدرة المطار بسبب وظيفتها الخاصة: السماح للطائرات بالهبوط والإقلاع بأمان

هذه الدراسة تخصّ مطار "هوارى بومدين" بالجزائر العاصمة

<b>Remerciement</b>	
<b>Résumé</b>	
<b>Table des matières</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Introduction générale.....</b>	<b>10</b>

## **Chapitre I : Généralités sur les aéroports**

<b>Introduction .....</b>	<b>13</b>
<b>I.1.Description d'un aéroport .....</b>	<b>13</b>
<b>I.2.Les composants d'un aéroport .....</b>	<b>14</b>
I.2.1. L'aérogare.....	15
I.2.1.1.Les différentes fonctions de l'aérogare .....	17
I.2.1.2.Fonctionnement type d'une aérogare .....	18
I.2.1.3.Les différentes conceptions d'aérogares .....	18
I.2.1.4.L'aérogare de fret .....	20
I.2.2. L'Aérodrome .....	20
I.2.2.1.Constitution d'un aérodrome .....	20
I.2.2.2. Aire de manœuvre .....	20
a- Aire d'atterrissage et ses protections.....	21
b- Les voies de circulation .....	30
I.2.2.3. L'aire de trafic .....	31
<b>I.3.Aides radioélectriques .....</b>	<b>33</b>
I.3.1. NDB.....	33
I.3.2. I.L.S. (Instrument Landing System).....	33
I.3.3. Le DME .....	35
I.3.4. Le VOR .....	35
I.3.5. VOR/DME .....	36
I.3.6. Le radar .....	36
<b>I.4. La tour de control .....</b>	<b>37</b>
<b>I.5. classifications des aérodromes .....</b>	<b>37</b>
<b>I.6. Code aéroports .....</b>	<b>37</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>38</b>

## **Chapitre II : capacité du système pistes**

<b>Introduction .....</b>	<b>39</b>
<b>II. 1. Définitions.....</b>	<b>39</b>
<b>II.2. Ensemble de maillons aéroportuaires et les flux qu'ils traitent .....</b>	<b>39</b>
<b>II.3.Qu'est-ce que La capacité du système pistes .....</b>	<b>41</b>
<b>II.4. Capacité technique .....</b>	<b>42</b>
II.4.1.Capacité horaire technique pour le système de piste(s) .....	43
II.4.2. Capacité technique pour une aérogare .....	44
<b>II.5.La capacité déclarée .....</b>	<b>45</b>
II.5.1. Définition .....	45
II.5.2. Application de capacité déclarée: la capacité de programmation .....	45
<b>II.6. Capacité annuelle .....</b>	<b>46</b>
<b>II.7.Comment le coté piste influence-t-il sur la capacité aéroportuaire ? .....</b>	<b>46</b>
<b>II.8.Analyse des facteurs de premier ordre:Évaluation de la capacité horaire technique.....</b>	<b>49</b>
II.8.1.Facteurs de premier ordre du système de piste(s) .....	49

II.8.1.a. Pour une séquence d'avions atterrissant .....	52
II.8.1.b. Pour une séquence d'avions qui décollent .....	57
II.8.1.c. Pour un mélange d'atterrissages et de décollages .....	60
II.8.2. Facteurs de premier ordre des voies de circulation .....	62
II.8.3. Facteurs de premier ordre des postes de stationnement .....	63
<b>II.9. L'analyse des facteurs de 2e ordre .....</b>	<b>63</b>
<b>II.10. Analyse des facteurs de 3e ordre .....</b>	<b>65</b>
<b>II.11. L'analyse des facteurs de 4e ordre.....</b>	<b>66</b>
<b>II.12. Facteurs qui influent sur la capacité annuelle en mouvements .....</b>	<b>67</b>
<b>II.13. Méthodes d'évaluation rapide de la capacité .....</b>	<b>69</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>73</b>

### **Chapitre III : Présentation de l'aéroport d'Alger Houari Boumediene**

<b>Introduction .....</b>	<b>76</b>
<b>III.1. Présentation de l'aéroport .....</b>	<b>76</b>
<b>III.2. Les parties principales de l'aéroport .....</b>	<b>78</b>
<b>III.3. Capacité de l'aéroport d'Alger .....</b>	<b>79</b>
III.3.1. Trafic aérodrome d'Alger.....	80
<b>III.4. Les aérogares .....</b>	<b>82</b>
III.4.1. Type de l'aérogare .....	82
III.4.2. Contact avions .....	83
<b>III.5. L'aérodrome d'Alger .....</b>	<b>83</b>
III.5.1. L'aire de manœuvre .....	83
III.5.2. L'aire de trafic .....	86
<b>III.6. Les installations d'aide à la navigation .....</b>	<b>86</b>
III.6.1. Utilisation du Radar et de l'ILS .....	88

### **Chapitre IV: Etude et calcul De la capacité système pistes Aérodromed'Alger**

<b>Introduction .....</b>	<b>89</b>
<b>IV.1. Méthodologie mise en œuvre pour la capacité piste .....</b>	<b>89</b>
<b>IV.2. Analyse de l'existant.....</b>	<b>90</b>
<b>IV.3. Temps d'occupation de piste .....</b>	<b>93</b>
A- TOP départ .....	93
B- TOP arrivée .....	94
<b>IV.4. Calcul des cadences élémentaires à partir des procédures .....</b>	<b>97</b>
<b>IV.5. Cadence moyenne .....</b>	<b>99</b>
<b>IV.6. Application numérique.....</b>	<b>99</b>
IV.6.1. Calcule des cadences élémentaires .....	99
IV.6.2. Calcule de cadences moyennes .....	102
<b>IV.7. Calcul de capacité horaire .....</b>	<b>105</b>
<b>IV.7. Application numérique .....</b>	<b>110</b>
<b>IV.8. Capacité parking .....</b>	<b>119</b>
IV.8.1. Calcule de la capacité théorique maximale.....	120
IV.8.2. La capacité opérationnelle .....	121
IV.8.3. prévision du nombre de postes de stationnement .....	121
<b>Conclusion.....</b>	<b>122</b>

## Liste des figures

### Chapitre I : Généralités sur les aéroports

<b>Figure I-1</b> : Aérogare de l'aéroport Houari Boumediene, Alger.....	13
<b>Figure I-2</b> : Schéma fonctionnel théorique d'une aérogare.....	17
<b>Figure I-3</b> : Exemples d'organisation spatiale d'aérogares et d'aires de stationnement...	18
<b>Figure I-4</b> : Aire d'atterrissage.....	20
<b>Figure I-5</b> : Exemple d'un doublet spécialisé éloigné.....	23
<b>Figure I-6</b> : Distance minimale entre deux pistes parallèles pour un avion de 70 m de longueur.....	24
<b>Figure I-7</b> : Aéroport de Saint-Denis – Gillot.....	25
<b>Figure I-8</b> : Les différentes sections d'aménagement optimisé de la piste.....	26
<b>Figure I-9</b> : les différentes distances déclarées.....	28
<b>Figure I-10</b> : Piste utilisable.....	29
<b>Figure I-11</b> : aires de manœuvre .....	30
<b>Figure I-12</b> : Aire de stationnement .....	31
<b>Figure I-13</b> : antenne localizer .....	33
<b>Figure I-14</b> : antenne Glide.....	33
<b>Figure I-15</b> : Couverture volumétrique des Markers.....	34
<b>Figure I-16</b> : DME.....	34
<b>Figure I-17</b> : VOR/DME.....	35

### Chapitre II : capacité du système pistes

<b>Figure II-1</b> : Organigramme d'ensemble de maillons aéroportuaires et les flux qu'ils traitent.....	40
<b>Figure II-2</b> : Graphe de la Capacité horaire technique pour un retard de 5 mn.....	43
<b>Figure II-3</b> : organigramme des paramètres influençant sur le niveau de capacité côté piste..	48
<b>Figure II-4</b> : L'aire de manœuvre de l'aéroport San Diego.....	50
<b>Figure II-5</b> : modes d'exploitation possible des systèmes de pistes parallèles.....	51
<b>Figure II-6</b> : la décompositions du temps d'occupation de piste à l'arrivée 1 <sup>er</sup> cas.....	53
<b>Figure II-7</b> : la décompositions du temps d'occupation de piste à l'arrivée 2 <sup>eme</sup> cas.....	53
<b>Figure II-8</b> : schéma de décomposition de temps d'occupation de piste 1 <sup>er</sup> cas.....	57
<b>Figure II-9</b> : schéma de décomposition de temps d'occupation de piste 2 <sup>eme</sup> cas.....	58
<b>Figure II-10</b> : Répartition du nombre de mouvements par heure sur une journée entière....	68
<b>Figure II-11</b> : l'influence des facteurs de 2 <sup>eme</sup> au 4 <sup>eme</sup> ordre sur la capacité annuelle.....	68
<b>Figure II-12</b> : Configuration ouverte.....	70
<b>Figure II-13</b> : Configuration fermée.....	71

### Chapitre III : Présentation de l'aéroport d'Alger Houari Boumediene

<b>Figure III-1</b> : L'aéroport d'Alger/Houari Boumediene.....	76
<b>Figure III-2</b> : Maquette de l'aéroport d'Alger avec la future aérogare.....	80
<b>Figure III-3</b> : L'aérogare internationale d'Alger.....	82

<b>Figure III-4 :</b> Le type de l'aérogare d'Alger.....	83
<b>Figure III-5 :</b> Les deux pistes de l'aérodrome d'Alger.....	84
<b>Figure III-6 :</b> Piste 05/23 et ses voies de circulation.....	85
<b>Figure III-7:</b> Les instruments de radionavigation des deux pistes de l'aérodrome d'Alger.....	87
<b>Chapitre IV: <u>Etude et calcul De la capacité système pistes Aéroport d'Alger</u></b>	
<b>Figure IV-1 :</b> Pistes aéroport d'Alger.....	91
<b>Figure IV-2 :</b> schéma représentatif piste 23/05.....	95
<b>Figure IV- 3:</b> Schéma représentatif piste 09/27.....	96

## Liste des tableaux

### Chapitre I : Généralités sur les aéroports

Tableau I-1 : limite de La largeur d'une piste en fonction des codes de référence.....25

### Chapitre II : capacité du système pistes

Tableau II-1: Les minima d'espacement résultant des turbulences de sillage.....55

Tableau II-2: Les minima d'espacement résultant des turbulences de sillage exprimé en NM.....56

Tableau II-3 : les minima d'espacement au départ.....59

### Chapitre III : Présentation de l'aéroport d'Alger Houari Boumediene

Tableau III -1 : Les obstacles d'aérodrome d'Alger (AIP Algérie 14 Jan 10).....77

Tableau III-2 : Les obstacles d'aérodrome d'Alger (AIP Algérie 14 Jan 2010).....78

Tableau III-3: Trafic passagers de l'aérodrome d'Alger 2005-2014.....80

Tableau III-4 : trafic aérodrome Alger 2005-2020.....81

Tableau III-5 : les statistiques mensuelles départs et des arrivées aérodrome Alger année 2015.....81

Tableau III-6 : les caractéristiques physiques des pistes.....84

Tableau III-7 : Les distances déclarées des pistes de l'aéroport d'Alger.....85

Tableau III-8 : Le système de guidage et de contrôle des mouvements à la surface et balisage.....86

Tableau III-9 : Les instruments de radionavigation de l'aérodrome d'Alger.....87

### Chapitre IV : Etude et calcul De la capacité système pistes Aérodrome d'Alger

Tableau IV-1: Type aéronefs et leur vitesse moyenne en final Kts.....92

Tableau VI-2: Minima d'espacement entre deux arrivées dus aux turbulences de sillage en Nm.....92

Tableau VI-3 : Minima d'espacement entre deux arrivées dus aux turbulences de sillage en secondes.....92

Tableau IV-4 : TOP décollage dans l'axe.....94

Tableau IV-5 : TOP avec virage de dégagement avant extrémité de piste.....94

Tableau IV- 6 : valeur caractéristique .....95

Tableau IV-7 : TOP arrivée piste 23.....96

Tableau IV-8 : TOP à l'arrivée piste 09.....96

Tableau VI-9: vitesse moyenne en final Kts et TOP QFU 23.....99

Tableau IV-10 : vitesse moyenne en final Kts et TOP QFU09.....100



<b>Tableau IV-11</b> : Cadences élémentaires des pistes d'aérodrome d'Alger.....	101
<b>Tableau IV-12</b> : Nombre mouvements enregistré journée type.....	102
<b>Tableau IV-13</b> : les catégories d'avion de la journée type.....	103
<b>Tableau IV-14</b> : valeur des cadences élémentaire « arrivée de type i – départ de type k »..	110
<b>Tableau VI-15</b> : valeurs de cadences « arrivée de type i – départ moyen ».....	110
<b>Tableau IV-16</b> : valeur des cadences élémentaire « départ de type k – arrivée de type j »..	111
<b>Tableau VI-17</b> : valeurs de cadences « départ moyen –arrivée de type j».....	111
<b>Tableau IV-18</b> : valeur d'intervalle de temps ou on peut insérer des départs.....	111
<b>Tableau IV-19</b> : valeur des cadences élémentaire « départ de type i – arrivée de type k ».	113
<b>Tableau VI-20</b> : valeurs de cadences « départ de type i – arrivée moyen ».....	113
<b>Tableau IV-21</b> : valeur des cadences élémentaire « arrivée de type k – départ de type j »...	113
<b>Tableau VI-22</b> : valeurs de cadences « arrivée moyen – départ de type j».....	113
<b>Tableau IV-23</b> : valeur d'intervalle de temps ou on peut insérer des arrivées.....	114
<b>Tableau IV-24</b> : valeur des cadences élémentaire « arrivée de type i – départ de type k ».	115
<b>Tableau VI-25</b> : valeurs de cadences « arrivée de type i – départ moyen ».....	115
<b>Tableau IV-26</b> : valeur des cadences élémentaire « départ de type k – arrivée de type j ».	116
<b>Tableau IV-26</b> : valeur des cadences élémentaire « départ de type k – arrivée de type j ».	116
<b>Tableau IV-28</b> : valeur d'intervalle de temps ou on peut insérer des départs.....	116
<b>Tableau IV-29</b> : valeur des cadences élémentaire « départ de type i – arrivée de type k ».	117
<b>Tableau VI-30</b> : valeurs de cadences « départ de type i – arrivée moyen ».....	117
<b>Tableau IV-31</b> : valeur des cadences élémentaire « arrivée de type k – départ de type j ».	118
<b>Tableau VI-32</b> : valeurs de cadences « arrivée moyen – départ de type j».....	118
<b>Tableau IV-33</b> : valeur d'intervalle de temps ou on peut insérer des arrivées.....	118
<b>Tableau IV-34</b> : nombre de postes et temps de traitement par type d'aéronef.....	119
<b>Tableau IV-35</b> : Répartitions résultants.....	121

## **Introduction générale :**

Le transport aérien joue un rôle majeur dans le développement économique globalisé que connaît actuellement le monde. Au cours des prochaines décennies, le trafic aérien mondial, pourrait doubler suivant la tendance actuelle. Les structures actuelles d'opération et de contrôle du trafic aérien doivent faire face à cette croissance.

Les limites de capacité, aussi bien pour les flux de trafic aérien que pour les activités aéroportuaires, sont déjà presque atteintes dans plusieurs pays du monde. De nombreux aéroports 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.

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 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, car pour les compagnies aériennes et les passagers, le vol commence et se termine sur les pistes de l'aéroport.

L'aéroport d'Alger futur hub est un bon exemple de plate-forme qui fonctionnera un jour à la limite de sa capacité. 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. Dans ce contexte notre intérêt vise à étudier la capacité du système pistes de l'aéroport d'Alger Houari Boumediene.

Le présent mémoire est structuré en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente les généralités sur les aéroports et apportera une description physique des infrastructures aéroportuaires.

Le deuxième chapitre : la notion de capacité aéroportuaire est d'abord définie, ensuite on traitera la capacité d'un système pistes ainsi que l'ensemble des paramètres qui ont une influence sur le niveau cette capacité.

Le troisième chapitre présentera l'aéroport d'Alger Houari Boumediene .Et pour finir, une analyse de la capacité du système pistes sera faite pour ce dernier.



# **Chapitre I :**

## **Généralité Sur Les Aéroports**

## **Introduction :**

Un aéroport est destiné au trafic aérien commercial de passagers ou de fret ainsi que toutes les activités commerciales et administratives (vente de billets, douane, etc.) qui s'y rattachent. Implanté sur un aérodrome, il est constitué par l'ensemble des bâtiments. Le bâtiment principal, l'aérogare, est le lieu de transit entre les transports au sol, publics ou privés, et les avions. Dans ce chapitre nous allons présenter d'une manière détaillée les aéroports avec une description sur les structures et infrastructure qui composent une aérogare et un aérodrome.

### **I.1. Description d'un aéroport :**

Un aéroport est donc un ensemble de bâtiments et d'installations d'un aérodrome qui servent au trafic aérien d'une ville ou d'une région. Ces bâtiments et installations sont conçus pour que les avions puissent décoller et atterrir, que le fret et les passagers puissent embarquer et débarquer.

C'est une surface qui peut-être sur terre ou sur l'eau, comprenant généralement des bâtiments, des installations et matériels destinés à être utilisés en totalité ou en partie pour des services aériens commerciaux, pour l'arrivée, le départ et évacuations des aéronefs à la surface.

L'aéroport est un espace aménagé sur lequel ont été prévues des installations à usage public, en vue de l'abri, de l'entretien ou de la réparation des avions, ainsi que pour la réception, l'embarquement de passagers et le chargement de marchandises.

L'appellation aéroport est réservée aux aérodromes spécialement équipés pour le transport aérien commercial. Ils sont souvent une composante majeure de l'activité économique et touristique d'une agglomération. Ils sont alors desservis par des liaisons routières rapides (voie express, autoroute) et des transports en commun. Leur implantation au plus près de la zone de chalandise est l'objet de conflits liés aux nuisances générées par les avions.

Un aéroport peut aussi comporter un hélicoptère destiné au trafic des hélicoptères.

### **I.2. Les composants d'un aéroport :**

En fait, partout, quels que soient les sites choisis et les diversités de plans, l'aéroport se compose de deux grandes infrastructures à savoir : l'aérodrome et l'aérogare au sein desquels on retrouve les activités attachées aux différentes fonctions et prestations d'un aéroport

(fonction aéronautique, commerciale, domaniale, d'assistance aéroportuaire, industrielle et services divers).

### **I.2.1. L'aérogare :**

L'aérogare est l'ensemble des bâtiments par lesquels transitent les passagers et leurs bagages et où sont également situés les guichets des compagnies aériennes, les services administratifs de l'aéroport, les services de douane ainsi que les services de sécurité. Selon la taille de l'aérogare, on peut aussi y trouver une zone de vente détaxée (Boutique hors taxes), des bars et restaurants.

Lorsque le vol est un vol international, en plus de l'enregistrement et du contrôle de sûreté, le passager doit passer par un filtre transfrontalier (« contrôle émigration » par la Police de l'air et des frontières) et éventuellement la douane.

À son débarquement, le passager doit aller récupérer ses bagages de soute. Si le vol est international, il subit un « contrôle immigration » avant d'accéder en salle de livraison des bagages, puis passe par la douane du pays d'arrivée.



**Figure I-1 :** Aérogare de l'aéroport Houari Boumediene, Alger

○ **L'aérogare et ses acteurs :**

**Les intervenants :**

On distingue parmi eux deux catégories principales : les usagers et les utilisateurs. On entend donc par usager, toute personne physique qui a recours au service rendu par l'équipement. La notion « d'usager » regroupe ainsi le public ciblé et ses accompagnateurs. En revanche, l'utilisateur comprendra toute personne physique ou morale qui, par sa profession, exploite au moins l'une des fonctions de l'ouvrage à un moment quelconque de son cycle de vie.

❖ **Les utilisateurs, intervenants qui font fonctionner l'aérogare :**

**Utilisateurs directs :**

- Le gestionnaire : c'est l'exploitant opérationnel et financier de l'aérogare. Il dispose de deux types de recettes :
  - Les redevances aéronautiques (atterrissage, passagers, balisage, stationnement des avions, carburants) ;
  - Les redevances extra-aéronautiques, à caractère purement commercial.
- Les compagnies aériennes : elles ont à charge le transport des passagers et de leurs bagages.
- Les services de contrôle réglementaire des passagers : ce sont les services de l'État qui assument les différentes tâches impliquées par le passage des frontières ou applicables aux passagers et à leurs bagages d'une manière générale : police, douane, sûreté, santé.

**Autres utilisateurs :**

- Ceux qui offrent un service aux passagers : Commerçants, restaurateurs, loueurs de voitures, transporteurs, services d'information, services de poste, de téléphone, établissements bancaires.
- Les services des bases aériennes, qui sont responsables de l'infrastructure aéroportuaire : création, aménagement et entretien des pistes, des aires de manœuvre et de stationnement des avions, ainsi que des bâtiments techniques.
- Les services de la Navigation aérienne, qui sont chargés d'assurer la régularité du trafic et la sécurité des aéronefs en vol et au sol. Ils sont responsables de la

conception des moyens, de leur mise en place, de leur entretien et de leur exploitation.

➤ **Les usagers de l'aérogare sont :**

- les passagers ;
- les visiteurs, n'ayant aucun lien direct avec le trafic, mais susceptibles d'utiliser les services et les commerces ;
- les accompagnateurs et attendant ;
- les personnels navigants, techniques ou commerciaux.

➤ **Les types de trafic :**

**Trafic national :** Les passagers et les bagages ne quittent pas le territoire national. Ils ne sont soumis à aucune formalité de frontière, mais doivent (y compris les bagages de soute) pouvoir subir un contrôle de sûreté.

**Trafic international :** Les passagers et les bagages quittent ou arrivent sur le territoire national. Ils sont soumis aux formalités de frontière et subissent obligatoirement un contrôle de sûreté.

**Trafic de transit :** Les passagers peuvent arriver par un mode de transport terrestre pour prendre l'avion ou inversement, mais ils peuvent aussi arriver par avion pour repartir par avion : c'est ce qu'on appelle « le trafic de transit ».

On distingue :

- le transit direct : les passagers, arrivés par avion avec un numéro de vol, repartent avec le même numéro de vol et normalement, par le même avion. Les bagages de soute restent en général dans l'avion ;
- le transit indirect ou correspondance: les passagers et les bagages arrivés à bord d'un avion sous un numéro de vol déterminé repartent à bord d'un autre avion sous un autre numéro de vol ;
- le transit rapide : les passagers et les bagages, arrivés par un avion, repartent par le même avion sans en être descendus.

Le transit, qu'il soit direct ou indirect, présente les quatre combinaisons suivantes (arrivée/départ) :

- transit national/national ;
- transit international/international ;



- transit national/international ;
- transit international/national.

Trafics long, moyen ou court-courrier : La durée du vol et la longueur du parcours permettent d'établir une autre distinction :

- vols long-courriers : plus de 3 000 km ;
- vols moyen-courriers : de 1 000 km à 3 000 km ;
- vols court-courriers : moins de 1 000 km.

### **I.2.1.1. Les différentes fonctions de l'aérogare :**

On peut distinguer cinq fonctions principales :

#### ➤ FONCTION TRAFIC :

Il s'agit des opérations de traitement du passager et de ses bagages (services gratuits rendus aux passagers et aux accompagnateurs).

#### ➤ FONCTION COMMERCIALE :

Il s'agit d'opérations commerciales associées à une recherche de rentabilité des surfaces et liées à un choix spécifique du gestionnaire (Vente de billets ; Banque de change Réservation ; Bar ; Restauration ; Boutique tabacs / journaux...)

#### ➤ FONCTION OPERATIONNELLE :

Il s'agit des locaux nécessaires au fonctionnement de l'aérogare comme le Poste de contrôle d'aérogare qui contrôle de fonctionnement de l'aérogare, regroupement des informations sur le trafic ainsi que les Locaux des compagnies et d'autres locaux divers d'exploitation.

#### ➤ FONCTION ADMINISTRATIVE :

Elle concerne les besoins administratifs du gestionnaire et des différents utilisateurs pouvant éventuellement être traités hors de l'aérogare :

- Locaux du gestionnaire : bureaux, salles de réunion...
- Locaux des compagnies : bureaux, salles de réunion.
- Locaux des services de l'État : Police de l'air et des Frontières, Douanes, Santé...

#### ➤ FONCTION TECHNIQUE :

Il s'agit des locaux nécessaires au fonctionnement du bâtiment.

- Locaux techniques : centrale électrique ; centrale de traitement d'air...
- Zones de stockage : hors commerces et bars / restaurants.

### I.2.1.2 Fonctionnement type d'une aéro-gare :

La figure suivante illustre l'organisation fonctionnelle de l'aéro-gare et les flux de passagers :

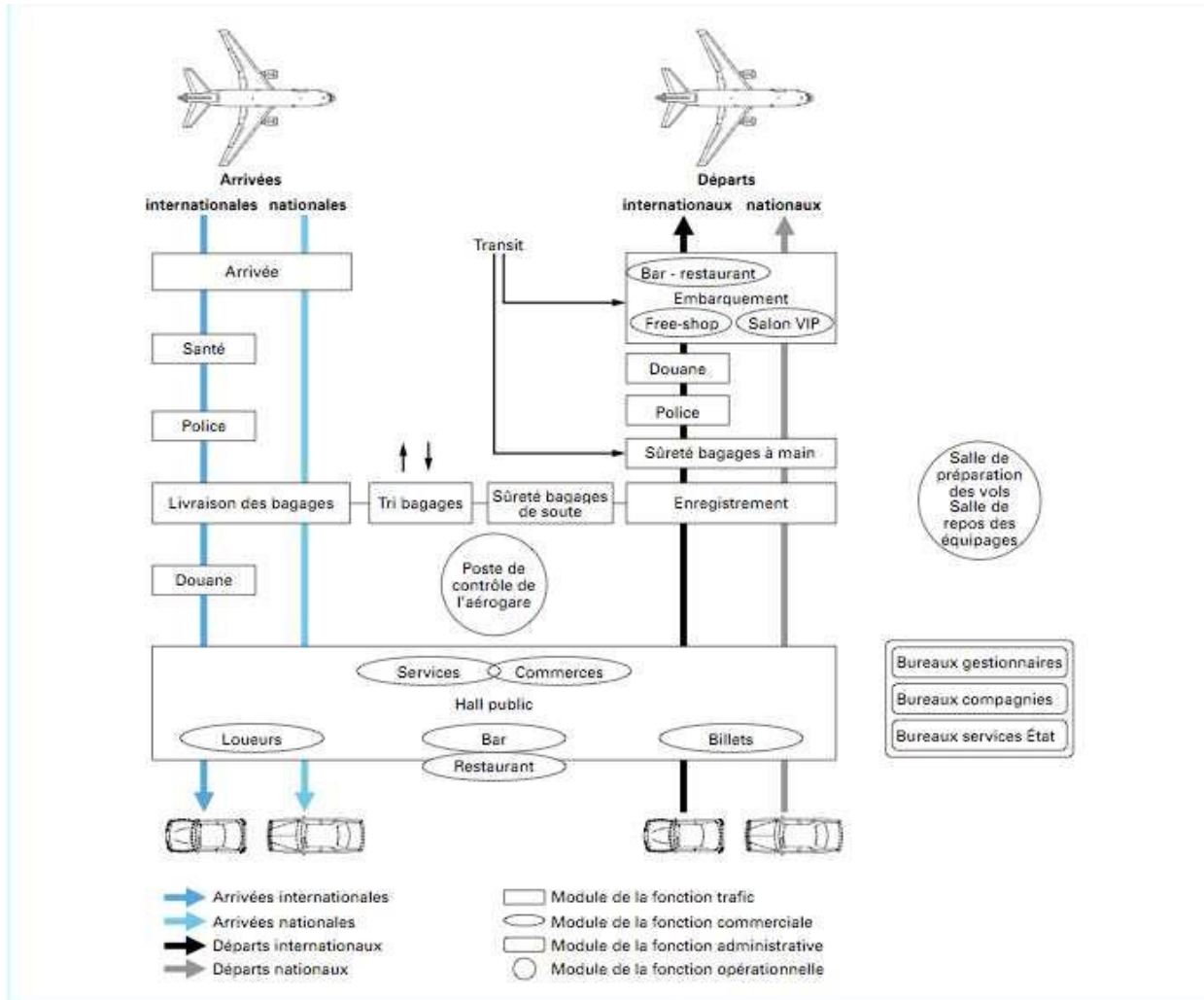
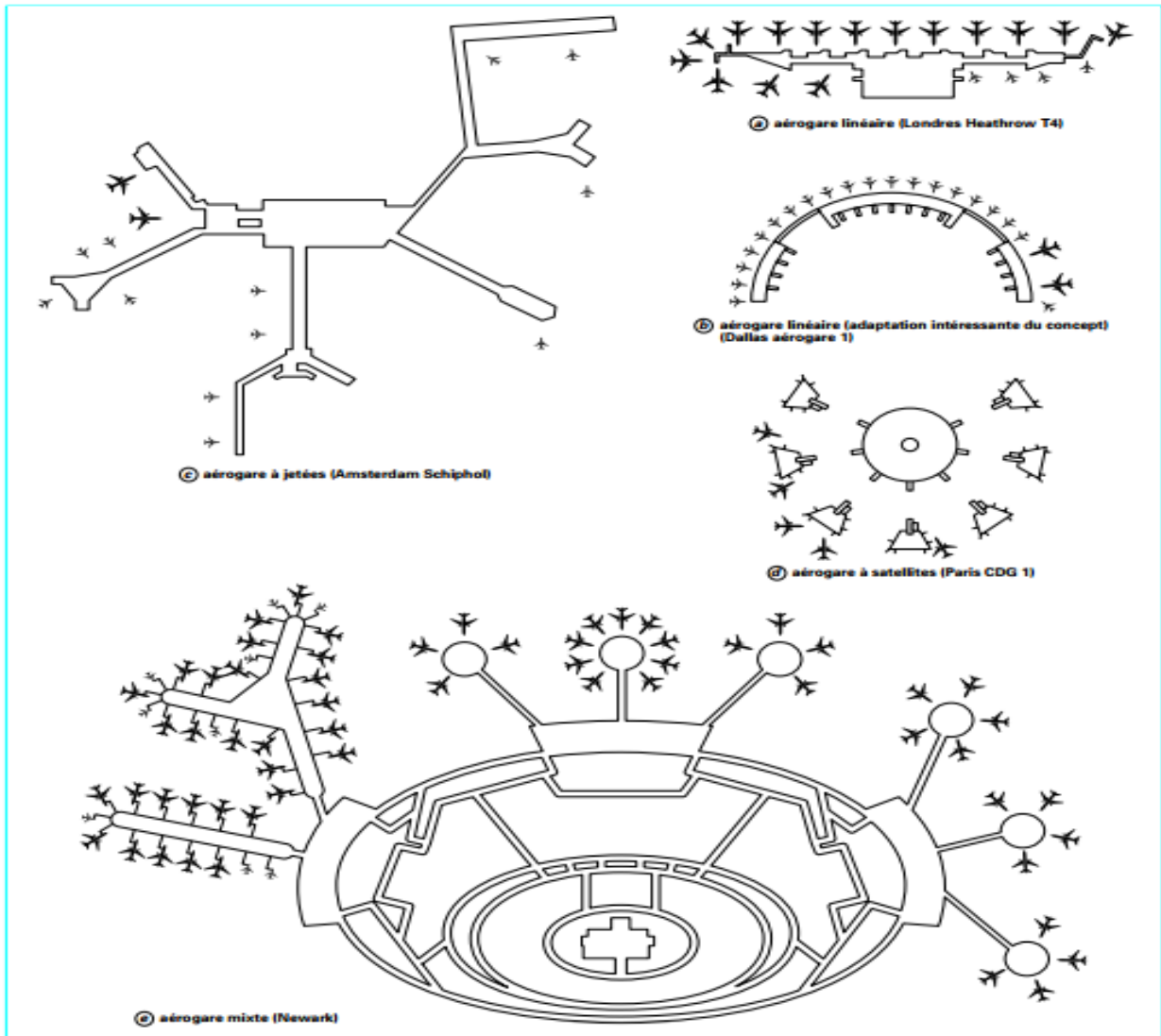


Figure I-2 : Schéma fonctionnel théorique d'une aéro-gare

### I.2.1.3 Les différentes conceptions d'aéro-gares :

Il existe plusieurs « modèles » d'aéro-gares : linéaire, linéaire à poste éloigné, à jetées, à satellites ou modulaire.

Chacun possède ses avantages et inconvénients (taux de contact, coûts en investissement et maintenance, flexibilité, distances à parcourir, temps de connexion...), et est plus ou moins indiqué en fonction des contraintes et objectifs de l'aéroport.



**Figure I-3 :** Exemples d'organisation spatiale d'aéroports et d'aires de stationnement

Les aéroports se différencient dans la manière de disposer les emplacements des avions à l'arrêt, leur raccordement et leur relation avec le bâtiment central. Il existe en gros, quatre conceptions de base qui sont :

**Conception jetée** : avec bâtiment central. Les avions se garent de deux côtés de la jetée. Lorsqu'il a deux jetées en plus, la distance doit être suffisante pour une à deux voies de circulation (dans les deux sens simultanément).

**Conception satellite** : avec bâtiment central. Un ou plusieurs bâtiments sont situés devant le terminal et sont entourés d'emplacements pour les avions. Le raccordement avec le bâtiment central est généralement souterrain.

**Conception linéaire** : les avions sont stationnés le long du bâtiment en une rangée ou deux, les uns à côtés des autres, perpendiculaires, parallèles ou en biais. La façon de stationner les avions influence grandement la longueur d'extension du bâtiment.

**Conception transporteur** : les avions sont stationnés loin du terminal, les voyageurs sont transportés par des véhicules spéciaux.

#### **I.2.1.4. L'aérogare de fret :**

Tout comme l'aérogare Passagers, l'aérogare de fret permet pour les marchandises la rupture de charge entre le transport terrestre et le transport aérien ;le fret aérien désigne les marchandises transportées d'un aéroport à un autre par une compagnie aérienne.

Suivant le mode d'acheminement, on distingue trois types de fret aérien :

- le fret tout cargo, transporté par avion-cargo, c'est-à-dire équipé exclusivement pour transporter des marchandises et offrant un fort volume d'emport (jusqu'à 100 t) ;
- le fret mixte, transporté par avion mixte ou avion « combi », transportant à la fois des passagers et du fret ;
- le fret voie de surface, transporté par tout autre moyen (par camion par exemple).

#### **I.2.2. L'Aérodrome :**

Surface 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 des aéronefs et pour leurs évolutions. Il peut être constitué d'une ou plusieurs pistes.

On peut constater qu'on a différent type d'aérodromes :

- ✓ Aérodrome non contrôlé: pas de service rendu
- ✓ Aérodrome AFIS: non contrôlé mais service d'information et alerte
- ✓ Aérodrome contrôlé: service de contrôle qui abrite une tour de control

##### **I.2.2.1. Constitution d'un aérodrome :**

L'aérodrome comprend deux parties principales : l'aire de mouvement et les zones des installations.

On a l'aire de mouvement qui se compose de :

- L'aire de manœuvre qui comprend :
- ⇒ Les pistes (aire d'atterrissage)

⇒ Les voies de circulation (taxiways).

• L'aire de trafic destinée à recevoir les aéronefs pendant les opérations d'escale et d'assistance. Et qui comprend :

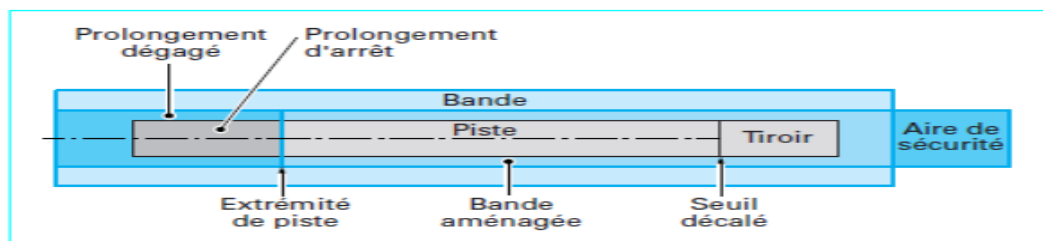
⇒ Les aires de stationnement, les aires d'entretien et les aires d'avitaillement

### **I.2.2.2. Aire de manœuvre :**

Aire de manœuvre est une partie de l'aérodrome utilisée pour les décollages, les atterrissages et la circulation des aéronefs au sol, à l'exclusion des aires de trafic.

#### **a- Aire d'atterrissage et ses protections:**

Première composante de l'aire de manœuvre, la **piste** qui est une aire aménagée afin de servir au décollage et à l'atterrissage des aéronefs.



**Figure I-4 :** Aire d'atterrissage

L'aire d'atterrissage comprend la ou les pistes et leurs prolongements éventuels :

- **Accotement:** partie des abords de piste traités de façon à offrir une surface de raccordement entre cette chaussée et le terrain environnant ; limiter le risque d'ingestion de corps étranger par des tétra-moteurs ;
- **Bande aménagée:** partie jouxtant les côtés de la piste revêtue (bords et extrémités) ou des prolongements d'arrêt aménagée de façon à limiter les conséquences d'une sortie de piste ; et réduire les dommages sur un aéronef sortant accidentellement de la piste
- **Bande (dégagée):** aire débarrassée de tout obstacle pouvant présenter un danger pour un aéronef volant à faible hauteur ; la bande est délimitée par le périmètre d'appui ;
- **Aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA):** appelée aire de recueil par l'ITAC, destinée à réduire les risques matériels d'un aéronef se posant trop court ou trop long ;
- **Prolongement d'arrêt:** aménagée pour augmenter la distance d'accélération-arrêt ;
- **Prolongement dégagé:** aire débarrassée de tout obstacle pouvant présenter un danger pour un aéronef volant à faible hauteur ; aménagée pour augmenter la distance de décollage ;
- **Tiroir:** partie de la piste comprise entre le seuil de décollage et le seuil d'atterrissage, s'ils sont différents.

### ➤ **Identification des pistes**

Les pistes sont identifiées par un nombre de deux chiffres indiquant leur orientation magnétique en dizaine de degrés lors du mouvement de l'aéronef. Pour cela, on divise par dix l'orientation de la piste exprimée en degrés et on arrondit le résultat à l'unité la plus proche. Ainsi une piste orientée à  $36^\circ$  sera numérotée 04 ; l'autre extrémité, orientée à  $216^\circ$  elle sera donc numérotée 22. L'écart entre les numéros est toujours de 18 ( $180^\circ$ ).

### ➤ **Orientation des pistes :**

L'orientation de la piste choisie en fonction de :

- ⇒ Considérations environnementales (bruit),
- ⇒ Considérations météorologiques (répartition des vents de laquelle résulte le coefficient théorique d'utilisation d'une piste)
- ⇒ Topographie de l'emplacement de l'aérodrome (abords, obstacles)
- ⇒ Nature et volume de la circulation aérienne résultants de la proximité d'autres aérodromes ou voies aériennes
- ⇒ Considérations relatives aux performances des aéronefs

Lorsqu'un aérodrome possède plusieurs pistes orientées dans la même direction, on utilise une lettre :

- L pour left (gauche),
- R pour right (droite).

Trois pistes peuvent être disposées en parallèle, dans ce cas la piste du milieu se verra associé à son numéro la lettre C (pour central).

Les aéroports possédant plus de 3 pistes parallèles, pour éviter toute confusion, décaleront arbitrairement certaines d'entre elles de  $10^\circ$  (arrondi aux  $10^\circ$  supérieurs ou inférieurs au lieu d'arrondi au plus proche). C'est le cas de Roissy Charles de Gaulle, ses pistes portent de gauche à droite les numéros: 26L, 26R, 27L et 27R.

### ➤ **Classement des pistes :**

Les normes et recommandations de l'OACI relatives aux pistes sont déterminées en fonction de la longueur de piste en utilisant les catégories du Code de piste standard.

- **Code 1** : référence de l'aérodrome longueur du champ à moins de **800 m**
- **Code 2** : Aérodrome longueur du champ de référence de **800 m** jusqu'à mais n'incluant pas **1200 m**

- **Code 3** : Aérodrome longueur du champ de référence jusqu'à mais n'incluant pas **1800 m**
- **Code 4** : référence de l'aérodrome longueur du champ **1800 m** et plus.

➤ **Dispositions types de pistes :**

La plupart des aérodromes disposent d'une piste unique susceptible d'écouler le trafic prévisible. La capacité d'une piste unique est déjà importante et permet d'écouler un trafic qui n'est atteint que sur les grands aéroports.

Cette piste principale, utilisée pour le trafic des avions commerciaux, peut être éventuellement complétée par une piste secondaire soit pour l'aviation générale et l'aviation légère, soit à titre de secours pour permettre les opérations d'entretien des pistes ou pour éviter l'interruption du trafic en cas d'accident sur la piste principale.

Sur les très grands aéroports, un système de plusieurs pistes est développé afin d'atteindre une capacité suffisante.

Les pistes peuvent se croiser ou être parallèles, auquel cas on parle de "doublets". Les pistes sont alors plus ou moins écartées et ont des fonctions différentes.

**Doublets de pistes parallèles :**

Les pistes parallèles peuvent être décalées longitudinalement de manière à tenir compte des contraintes dues aux turbulences de sillage et à réduire les temps de circulation au sol en augmentant ainsi la capacité du dispositif de pistes. Ce décalage permet également de prendre en compte les contraintes physiques et environnementales du site.

Un doublet de pistes parallèles est caractérisé par :

- L'utilisation à laquelle est destinée chacune des deux pistes (doublet spécialisé, doublet banalisé ou indépendant, doublet de pistes de codes différents pouvant être elles-mêmes à vue ou aux instruments) ;
- L'écartement des deux axes (doublet rapproché ou éloigné).

■ **Doublet spécialisé :**

Il s'agit d'un doublet dans lequel l'une des pistes est exclusivement réservée aux atterrissages tandis que l'autre n'est utilisée que pour les décollages. Cette spécialisation peut être valable quel que soit le seuil utilisé (dans ce cas, la piste réservée aux atterrissages peut être plus courte) ou associée à un des deux seuils (pour des raisons de bruit, par exemple).

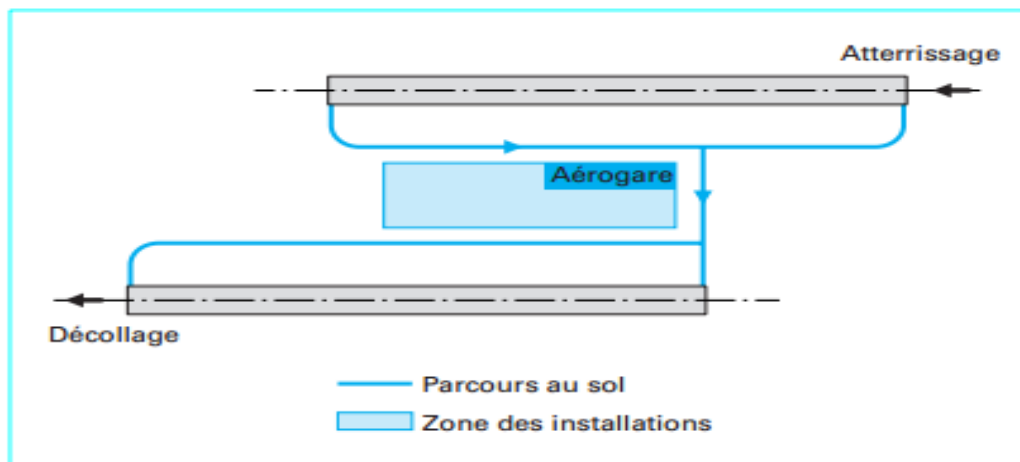
Par ailleurs, il est recommandé dans le cas d'un doublet spécialisé, que la piste réservée aux décollages soit la plus proche de la zone des installations.

■ Doublet banalisé Il s'agit d'un doublet sur lequel les atterrissages et les décollages s'effectuent indifféremment sur l'une ou l'autre piste.

■ Doublet de pistes de codes différents Il s'agit d'un doublet dans lequel la piste principale est destinée à une certaine catégorie d'aéronefs (commerciaux, rapides, à réacteurs,...) tandis que la piste secondaire est réservée aux avions les moins contraignants.

Cette disposition de pistes est fréquemment adoptée sur les aérodromes où l'activité d'aviation légère est importante.

**Doublet éloigné :** (figure I.5) Le doublet éloigné est généralement destiné à pouvoir être utilisé en toutes conditions météorologiques.



**Figure I-5 :** Exemple d'un doublet spécialisé éloigné

### **Doublet rapproché :**

Le doublet est dit rapproché dans le cas où il serait utilisé pour des vols simultanés en conditions de vol à vue. (La distance entre les pistes est de 120 m (code 1), 150 m (code 2), 210 m (code 3 ou 4).

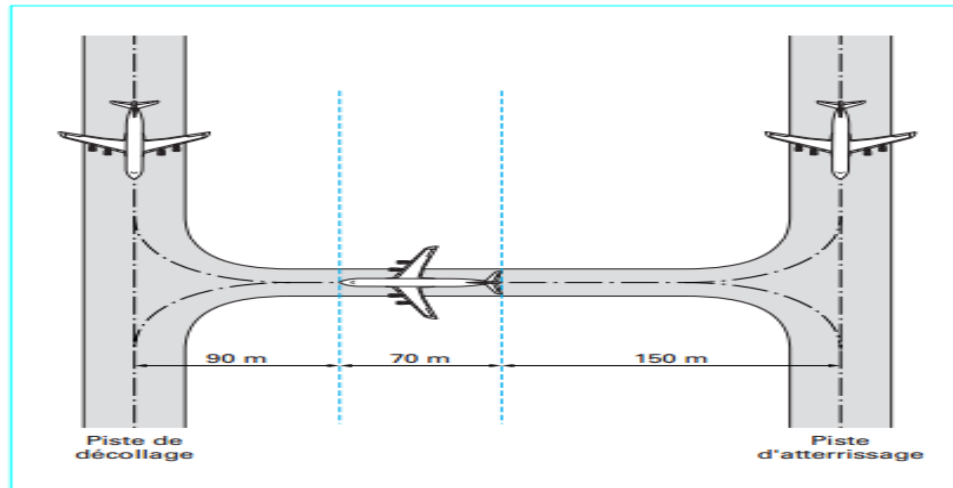
● Dans le cas d'un doublet spécialisé utilisé en conditions de vol aux instruments, une étude spécifique est nécessaire pour déterminer l'écartement minimal entre axes devant être respecté. Les éléments qui influent sur la distance minimale entre les deux axes de piste d'un doublet spécialisé rapproché, utilisé en conditions de vol aux instruments sont:

- Les caractéristiques des aéronefs qui utilisent ou utiliseront les pistes, en particulier la longueur de l'aéronef (70 m pour un B 747, 84 m pour l'avion représentatif du code F) ;
- Les marges latérales à respecter en fonction des conditions d'utilisation des pistes, qui sont de 150 m pour une piste d'atterrissage avec approche aux instruments et de 90 m pour une piste de décollage ;
- Les conditions opérationnelles d'utilisation des pistes.



C'est ainsi que, résultant de l'addition des éléments suivants:

- Distance à laquelle doit se trouver la dérive de l'avion ayant atterri par rapport à l'axe de la piste utilisée pour l'atterrissage aux instruments (150 m) ;
- Distance à laquelle doit se trouver la dérive de l'avion par rapport à l'axe de la piste utilisée au décollage (90 m) ;
- longueur de l'avion futur (84 m, par un avion représentatif du code F),



**Figure I-6 :** distance minimale entre deux pistes parallèles pour un avion de 70 m de longueur

Les distances ainsi déterminées ne sont toutefois valables que lorsque :

- Les pistes du doublet ne sont pas séparées par une voie de circulation centrale ;
- Un seul mouvement à lieu à la fois (décollage ou atterrissage) ;
- Les pistes ne sont utilisées que pour les approches classiques ou de précision de catégorie I et des décollages classiques.

### **Doublet de pistes sécantes ou croisements de pistes :**

Le doublet de pistes sécantes peut être spécialisé ou banalisé ou comporter des pistes de codes différents. Les croisements de pistes ne permettent pas de satisfaire toutes les règles de profil en long et de profil en travers applicables à chacune des deux pistes. Elles existent de moins en moins car on perd en capacité de dispositif de pistes (nombre d'avions qui peuvent atterrir sur une piste par jour).



**Figure I-7 : Aéroport de Saint-Denis – Gillot**

**Bande composite :**

Lorsque, sur un aérodrome de code chiffre 1 ou 2, il est projeté d'aménager, selon une même direction d'axe, deux pistes différentes, dont une au moins non revêtue, ces deux pistes peuvent être accolées bord à bord et constituer une bande composite si l'écartement minimal correspondant à un doublet ne peut être assuré. Ce dispositif rend impossible l'utilisation simultanée des pistes, limite par suite la capacité du système, et ne se justifie que si le trafic d'aviation d'affaires est réduit ou décalé dans le temps par rapport à l'aviation légère.

➤ **Largeur et profils :**

La largeur d'une piste revêtue ne doit pas être inférieure à la dimension spécifiée dans le tableau ci-dessous, en fonction des codes de référence.

Chiffre de code	Lettre de code				
	A	B	C	D	E
1	<b>18m (*)</b>	<b>18m (*)</b>	<b>23m (*)</b>	-	-
2	<b>23m (*)</b>	<b>23m (*)</b>	<b>30m</b>	-	-
3	<b>30m</b>	<b>30m</b>	<b>30m</b>	<b>45m</b>	-
4	-	-	<b>45m</b>	<b>45m</b>	<b>45m</b>

**Tableau I-1 : limite de La largeur d'une piste en fonction des codes de référence**

- Sur les pistes équipées pour les approches de précision, elle ne doit pas être inférieure à 30 mètres et va jusqu'à 45 ou 60 mètres selon les codes de pistes.
- Sur les pistes équipées pour les approches classiques et à vue, selon les catégories, elle varie par paliers de 18 à 60 mètres.

- Dans le cas d'une piste gazonnée, elle est majorée de 10 %.

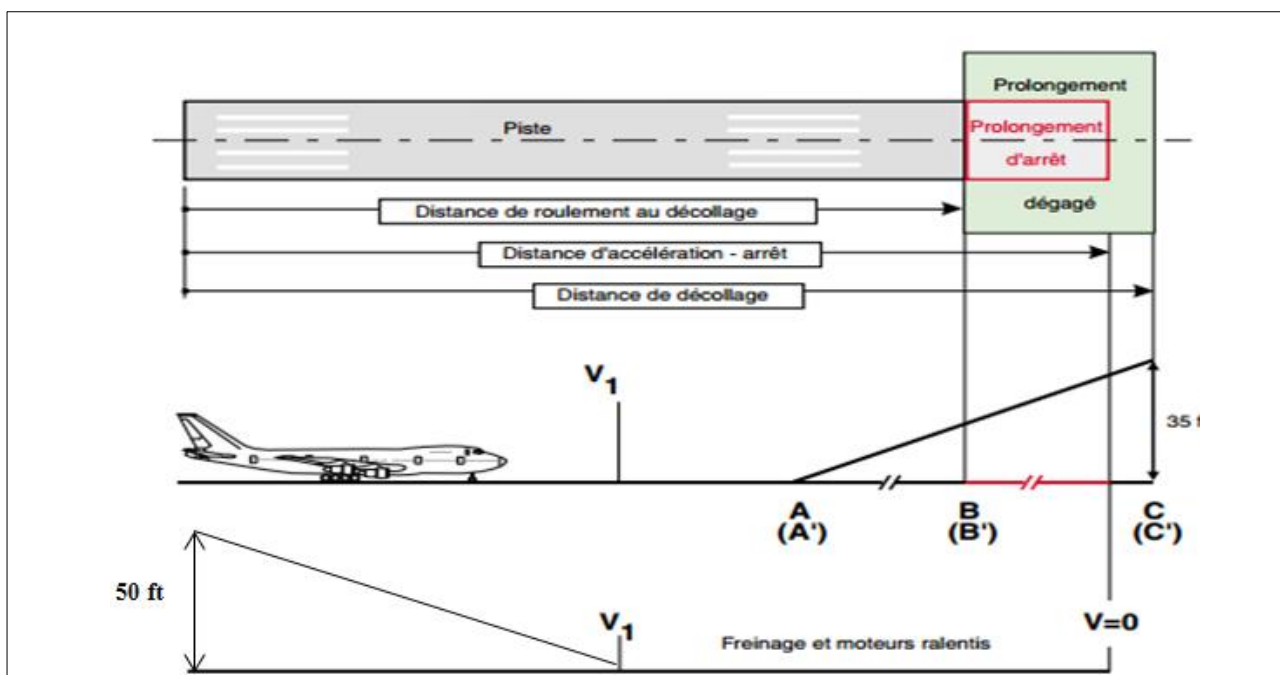
Lorsque le chiffre de code est **1 ou 2**, la largeur d'une piste avec approche de précision ne doit pas être inférieure à **30m**.

En ce qui concerne les pistes non revêtues, la largeur minimale est de **50m** ou de **80m** selon qu'il s'agit d'une piste pour avions ou d'une piste pour planeurs.

- Concernant son profil, la piste doit être la plus horizontale possible (profil en long). Sa pente moyenne longitudinale ne doit pas excéder 1 à 2 %. Elle est obtenue en divisant la différence entre l'altitude maximale et minimale par la longueur.
- Les profils en travers des pistes sont constitués de deux versants formant comme un toit. La piste doit être aussi plate que possible tout en présentant des pentes suffisantes pour assurer l'évacuation des eaux de pluie dans le but d'éviter les phénomènes de glissance et d'hydroplanage. Les pistes non revêtues qui ne permettent pas d'écouler rapidement les eaux de pluie doivent avoir une pente plus importante (2,5 à 3 %).

➤ **Dimension et distances de décollage et d'atterrissage déclaré de piste :**

Alors que la largeur minimale à donner à une piste revêtue dépend directement du code de référence de l'avion le plus pénalisant devant pouvoir être accueilli, sa longueur fait intervenir d'autres éléments, à savoir :



**Figure I-8 :** Les différentes sections d'aménagement optimisées de la piste

- La distance de décollage définie comme étant la plus longue de :
  - Celle majorée de 15 % séparant sur l'axe de la piste le point O où intervient le lâcher de freins du point C à l'aplomb duquel l'avion a atteint la hauteur de 35 pieds (10 m) à une vitesse au moins égale à celle garantissant le respect de la pente de montée minimale requise au décollage
  - celle non majorée séparant le même point O du point C' répondant à la même définition que le point C dans le cas où le pilote aurait pris le parti de poursuivre le décollage en atteignant la vitesse de décision V1 seulement au-delà de laquelle il est habilité à le faire en cas de défaillance d'un moteur.
    - La distance de roulement au décollage déterminée comme la précédente en considérant non plus le point C (ou C') à l'aplomb des 35 pieds mais le point B (ou B') situé au milieu du segment séparant ce dernier de celui où l'avion quitte le sol,
    - La distance d'accélération-arrêt nécessaire, depuis le lâcher de freins, pour immobiliser l'appareil dans le cas où le pilote aurait, en même situation limite de vitesse V1, décidé d'interrompre le décollage.

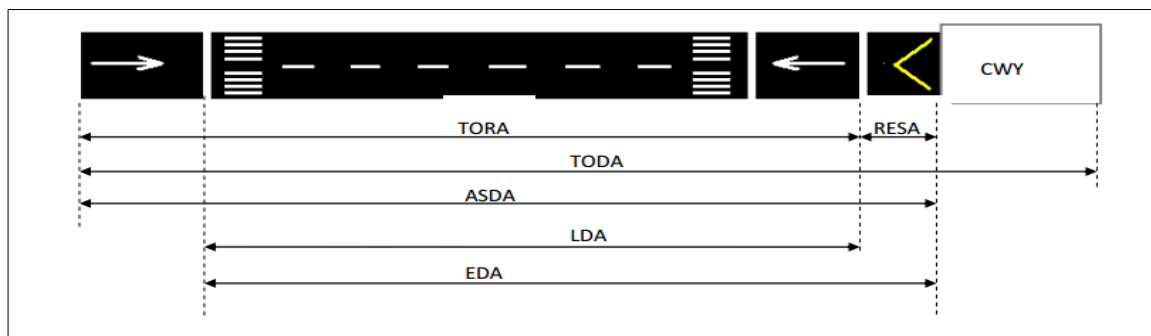
Ces trois distances permettent de définir trois sections sur la piste, à savoir :

- Celle correspondant à la distance de roulement au décollage,
- Celle dite prolongement d'arrêt suivant la précédente jusqu'à l'extrémité de la distance d'accélération-arrêt qui peut être construite de manière plus économique,
- Celle seulement survolée à moins de 35 pieds au-delà de la distance de roulement au décollage, dite prolongement dégagé, cette section sera traitée sur une largeur de 150 m de manière telle qu'aucun point du sol ne fasse saillie au-dessus d'un plan incliné à 1,25 % s'appuyant à sa partie inférieure sur une droite horizontale perpendiculaire au plan vertical contenant l'axe de la piste, passant par le point marquant sur l'axe l'extrémité de la distance de roulement au décollage.

Généralement non déterminante, la prise en compte de l'atterrissage peut l'être lorsque des obstacles dans la trouée d'atterrissage obligent à décaler de manière importante vers l'aval le seuil de piste en deçà duquel le roulement à l'atterrissage doit être interdit. L'extrémité opposée de la piste se trouve en effet devoir être située au-delà à une distance au moins égale

à celle nécessaire à l'avion le plus pénalisant pour atterrir et s'arrêter à partir d'un point situé à la verticale du seuil de piste à une hauteur de 50 pieds (15 m).

Les pistes sur les petits aérodromes font en général de 500 à 1 000 mètres de long pour 25 à 45 mètres de large. Les plus grandes pistes des aéroports majeurs mesurent jusqu'à 4200 mètres de long pour 60 mètres de large. Sur les aéroports, toutes les combinaisons de petites pistes en herbe et grandes pistes en dur sont possibles en fonction du trafic qu'elles reçoivent.



**Figure I-9:** les différentes distances déclarées

- Distance de roulement utilisable au décollage (TORA « Take-Off Roll distance Available ») : est la longueur de piste disponible et compatible avec le roulage sur cette piste d'un aéronef au décollage
- Distance utilisable au décollage (TODA « Take-Off Distance Available ») : est la longueur de piste TORA auquel on ajoute la longueur du clearway (prolongement dégagé - CWY).
- Distance utilisable pour l'accélération et l'arrêt (ASD « Acceleration-Stop Distance Available ») : est la longueur de piste TORA + la longueur du prolongement d'arrêt (s'il existe).
- Distance utilisable à l'atterrissage (LDA « Landing Distance Available ») : la longueur de piste déclarée qui est utilisable pour un aéronef à l'atterrissage.
- EDA « EMERGENCY DISTANCE AVAILABLE » : En cas d'atterrissage d'un aéronef en condition d'urgence il indique la longueur de piste disponible (incluant le prolongement d'arrêt).

➤ **Piste utilisable atterrissage et décollage :**

La piste utilisable aux atterrissages et au décollage possède certains types de marquage en fonction des cas de catégorie et de texture incluant :

- Le numéro de piste
- Le marquage du seuil et de fin de piste

- Le marquage latéral de piste
- Le marquage axial de piste
- Le marquage des zones de touché à l'atterrissage
- Les marquages de distance additionnels

Le seuil de piste est généralement à chaque extrémité de la délimitation de piste. Cependant dans quelques cas, le seuil de piste est déplacé et ne correspond pas à l'extrémité de piste dans ce cas, nous avons un seuil de piste décalé.



**Figure I-10 : Piste utilisable**

### **Type de piste :**

- **Piste aux instruments** : Piste destinée aux aéronefs qui utilisent des procédures d'approche aux instruments.
- **Piste avec approche classique** : Piste, destinée aux aéronefs utilisant des procédures d'approche aux instruments, desservie par des aides visuelles et une aide non visuelle assurant au moins un guidage en direction satisfaisant pour une approche en ligne droite.
- **Piste avec approche de précision** : Piste, destinée aux aéronefs utilisant des procédures d'approche aux instruments, desservie par un système d'atterrissage aux instruments du type ILS ou MLS et des aides visuelles destinées à l'approche avec des hauteurs de décision et des portées visuelles variant en fonction de la catégorie de l'approche de précision

Dite hauteur de décision, la hauteur la plus faible des roues de l'avion par rapport à l'altitude du seuil d'atterrissage à laquelle peut être prise cette décision est fonction naturellement de l'équipement de la piste mais aussi de la qualité de ses dégagements.

Caractérisant la qualité d'approche permise par tel ou tel aérodrome, cette hauteur de décision permet de classer ceux-ci dans les trois catégories d'approche de précision suivantes :

- catégorie I, lorsque la hauteur de décision est supérieure ou égale à 200 pieds (60 m),
- Catégorie II, lorsque la hauteur de décision est comprise entre 100 et 200 pieds (30 et 60 m),
- catégorie III, lorsque la hauteur de décision est inférieure à 100 pieds (30 m.).

-**Piste à vue** : Piste destinée aux aéronefs effectuant une approche à vue.

### **b- Les voies de circulation :**

Une voie de circulation (communément nommée **taxiway** dans le langage aéronautique) est une voie définie, sur un aérodrome terrestre, aménagée pour la circulation à la surface des

aéronefs et destinée à assurer la liaison entre différentes parties de l'aire de mouvement; on distingue :

- l'entrée de piste qui permet aux aéronefs d'accéder à la piste ;
- la sortie de piste qui permet aux aéronefs de quitter la piste ;
- la voie de relation qui permet le déplacement des aéronefs entre les entrées ou sorties de piste et les aires de stationnement ; elle est incluse dans l'aire de mouvement ;
- la voie de desserte qui est une voie de circulation qui borde ou traverse les aires de trafic ;
- la voie d'accès de poste de stationnement d'aéronef qui fait partie de l'aire de trafic et qui est destinée seulement à permettre l'accès à un poste de stationnement d'aéronef ;
- la voie de circulation d'aire de trafic qui est située sur une aire de trafic et destinée à matérialiser un parcours permettant de traverser cette aire ;
- la voie de sortie rapide qui est raccordée à une piste suivant un angle aigu et conçue de façon à permettre à un aéronef qui atterrit de dégager la piste à une vitesse plus élevée que celle permise par les autres voies de sortie. »

Ces voies sont souvent construites en dur (asphalte, béton ou tarmac) pour les grands aéroports, mais sont souvent faites de terre nue ou couverte d'herbe, pour les aéroports de moindre importance.

**NB:** Voie de service est une route de surface aménagée sur l'aire de mouvement destinée à l'usage exclusif des véhicules.

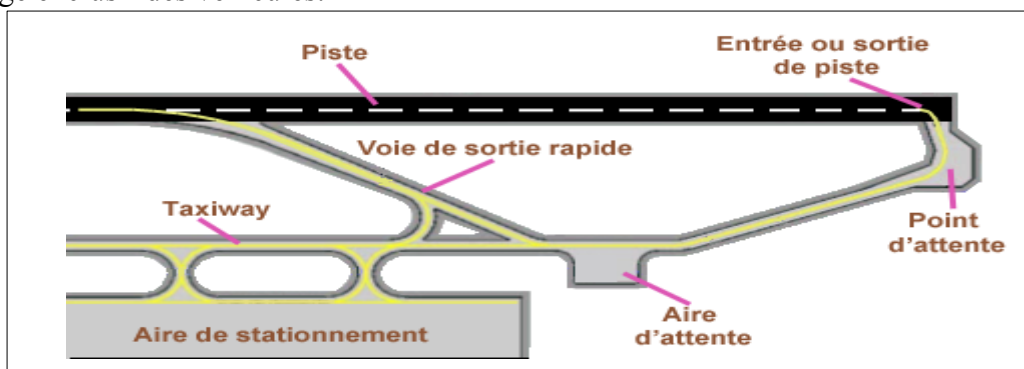


Figure I-11 : aires de manœuvre

### I.2.2.3. L'aire de trafic :

Aire définie, sur un aérodrome terrestre, destinée aux aéronefs pendant l'embarquement ou le débarquement des voyageurs, le chargement ou le déchargement de la poste ou du fret, l'avitaillement ou la reprise de carburant, le stationnement ou l'entretien.

**a- Aire de trafic passager :** est une aire désignée pour la manœuvre et le stationnement des avions, sur laquelle les passagers effectuent leur embarquement et leur débarquement.

Cette aire peut également être utilisée pour l'avitaillement ou l'entretien des avions y stationnant ainsi que pour y charger et décharger le fret, la poste et les bagages.



**Figure I-12** : Aire de stationnement

Reliant directement le bâtiment de l'aérogare à la porte d'entrée de l'avion, les passerelles ne concernent que les postes de stationnement au contact de l'aérogare.

- b- Aire de trafic fret** : distincte, adjacente à l'aérogare de fret, est parfois prévue pour des avions ne transportant que du fret ou de la poste. La séparation des avions cargo des avions de passagers est en effet souhaitable, chaque type d'avion exigeant un traitement, des installations et des équipements différents.
- c- Aire de garage** : qui est, en principe, destinée au stationnement des avions pendant les périodes où ils ne sont pas utilisés commercialement. elle peut toutefois être mise à contribution en période de trafic de pointe et doit, par suite, être conçue en conséquence. Son équipement à cette fin peut par contre être simplifié.
- d- Aires d'entretien** : Adjacentes chacune à un ou plusieurs hangars de réparation, elles sont aménagées sur les grands aérodromes commerciaux en tête de lignes, sur lesquels les transporteurs aériens choisissent d'installer leurs services d'entretien. La conception de ces aires est naturellement à examiner en liaison avec ces services.

**e- aires de dégivrage :**

Généralement les opérations de dégivrage s'opèrent sur les aires de stationnement ou sur des aires attenantes spécialement prévues à cet effet.



Ces aires devront être implantées sur un cheminement extérieur aux voies de circulation couramment empruntées afin de ne pas retarder les avions ne demandant pas un dégivrage. Et pourront toutefois, hors périodes de givre, être utilisées comme aires d'attente.

À noter enfin qu'une aire de dégivrage peut traiter environ huit avions par heure et par poste.

**f- Aires spéciales :** aires de compensation des compas, de calage des altimètres, de calage des INS (systèmes de navigation par inertie), alerte à la bombe, manutention de marchandises dangereuses...

### **I.3. Aides radioélectriques :**

#### **I.3.1. NDB:**

Les balises NDB sont parmi les plus vieux types d'aide à la navigation par onde radio. Une balise NDB est un radiophare non directionnel NDB (Non Directional Beacon), l'équivalent d'un phare dans la marine. Ce système utilise, à bord de l'avion, un récepteur radio ADF (automatic direction finder), qui permet de naviguer vers une station NDB et de suivre une route. Il permet la navigation dans les régions non équipées de couverture VOR.

#### **I.3.2. I.L.S. (Instrument Landing System):**

Le système I.L.S. est constitué par un ensemble d'émetteurs radioélectriques, qui émet dans la direction de la trajectoire d'approche finale. Le signal radioélectrique émis n'est pas le même dans toutes les directions, il est une fonction de l'azimut et du site de la direction d'émission. L'aéronef en approche est équipé d'un récepteur qui analyse le signal reçu et en déduit l'azimut et le site de sa position par rapport à ceux de la trajectoire nominale d'approche finale. Le dispositif comprend aussi un système donnant au pilote une indication de distance à parcourir jusqu'à la piste.

L'ILS est constitué de deux sous-systèmes bien distincts auxquels est adjoint le dispositif donnant une indication de distance :

- Le localiser : (radioalignement de piste) émet des signaux dont la fréquence appartient à la bande V.H.F. (Very High Frequency). Son antenne est située généralement dans l'axe de la trajectoire finale, au-delà de l'extrémité de piste. Il émet un signal qui est fonction de l'azimut vers lequel il est émis. En recevant et en traitant ce signal, l'équipement embarqué permet au pilote de situer la position de l'aéronef à droite ou à gauche du plan vertical de la trajectoire d'approche nominale,

- Le glide (radioalignement de descente) émet des signaux dont la fréquence appartient à la bande U-H-F- (Ultra High Frequency). Ses antennes sont implantées dans le « plan de descente », qui contient la trajectoire finale nominale, sur son intersection avec le sol à côté de la piste (laquelle intersection est perpendiculaire à l'axe de piste). Il émet un signal qui dépend du site vers lequel il est émis. En recevant et en traitant ce signal, l'équipement embarqué permet au pilote de situer la position de l'aéronef au-dessus ou au-dessous du plan de descente de la trajectoire d'approche nominale. L'angle de ce plan avec l'horizontale est généralement de  $3^\circ$ . Il peut être supérieur (dans certains cas  $4,6^\circ$ ) si des conditions particulières, telles que le relief environnant ou les nuisances sonores, conduisent à retenir une trajectoire d'approche aussi inclinée.



**Figure I-13:** antenne localizer



**Figure I-14:** antenne Glide

### Les Radio-bornes:

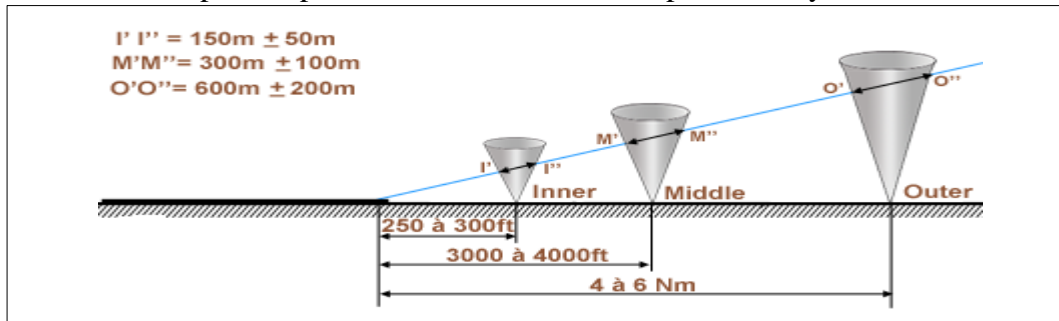
Appelées également **Markers** les radio-bornes, bien qu'indépendantes forment avec le localizer et le glide path l'ensemble de l'**ILS** (Instrument Landing System). Leur but est de permettre une indication exacte, mais temporaire de la position de l'aéronef sur sa trajectoire d'approche avant l'atterrissage.

Des balises de marqueur (Markers) sont utilisées pour alerter le pilote par rapport à son altitude en cas de mauvaise manœuvre. Cette information est présentée au pilote par des sélections audio et visuelles.

Les Markers sont des émetteurs radio dont les antennes ont un rayonnement vertical, et sont implantées tout le long de l'axe d'approche, à des distances variables du seuil. Les émissions des Marker forment des cônes d'émission verticaux étroits. Leur rôle est de renseigner le pilote du passage de l'appareil à leur verticale et ainsi de suivre parfaitement le plan de descente. Il y a trois balises:

- Outer Marker « OM »
- Middle Marker « MM »
- Inner Marker « IM »

Les markers sont de plus en plus souvent abandonnés au profit des systèmes DME.



**Figure I-15 :** Couverture volumétrique des Markers

### I.3.3. Le DME :

Un DME (Distance Measuring Equipment) est un transpondeur au sol qui permet, en répondant aux interrogations d'un émetteur-récepteur embarqué, de calculer avec précision la distance séparant les deux équipements radio.

Le système DME permet d'afficher dans un avion la distance oblique qui le sépare de l'antenne DME au sol. Les DME sont, en général, aux mêmes endroits que les balises VOR. Grâce à un DME couplé à un VOR, on peut connaître la position exacte de l'aéronef : le VOR indique sa position angulaire par rapport à la balise, et le DME donne la distance oblique par rapport à la même balise.



**Figure I-16 :** DME

### I.3.4. Le VOR :

Le VOR (VHF Omnidirectional Range) est un système de positionnement radioélectrique, comme son nom l'indique, avec les fréquences de la bande VHF. Le VOR émet, lui, en modulation d'amplitude.

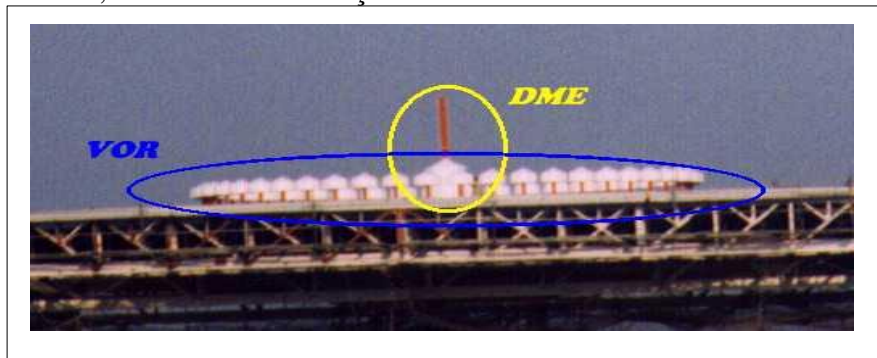
Un système VOR se compose de deux éléments : Au sol : un émetteur Dans l'avion : un récepteur associé à un instrument qui affiche où l'avion se situe, angulairement, par rapport à l'émetteur. Un récepteur de navigation VOR (NAVCOM), permet de déterminer le

relèvement magnétique d'un aéronef par rapport à une station radioélectrique au sol (balise émetteur VOR), dont la position est connue. Le relèvement magnétique d'un aéronef par rapport à un VOR s'exprime par le rayon issu du VOR, sur lequel l'aéronef se trouve. Chaque rayon issu de la balise est appelé un radial.

### **I.3.5. VOR/DME :**

Il existe des balises VOR, des balises DME et des balises couplées VOR/DME. Les balises couplées VOR/DME sont des balises DME installées aux mêmes endroits que les balises VOR. Grâce à un VOR/DME, un avion peut connaître sa position exacte : le VOR indique la position angulaire par rapport à la balise, et le DME donne la distance oblique par rapport à la même balise.

Le plus souvent, on ne règle pas la fréquence du DME dans le récepteur de l'avion. Cette fréquence est réglée automatiquement quand on règle celle du VOR. Le reste du fonctionnement est exactement identique à celui des VOR et DME. La réception du signal radio d'une balise VOR/DME peut se faire en commutant les récepteurs radio sur VOR ou sur DME. Normalement, les codes Morse reçus sont les mêmes.



**Figure I-17: VOR/DME**

### **I.3.6. Le RADAR : RADio Detection And Ranging**

Le radar de contrôle aérien est un instrument qui a pour objet de détecter, suivre et guider les aéronefs dans leur espace de vol. On distingue deux principaux types : Le radar primaire (PSR) et le radar secondaire de surveillance (SSR)

Le radar primaire utilise le principe d'émission d'une énergie électromagnétique, par des impulsions très courtes et détecte les impulsions échos réfléchies par les cibles. La position, la vitesse radiale et l'angle d'azimut d'une cible sont alors déterminés sans que celle-ci ne soit identifiée.

Le radar secondaire de surveillance est utilisé pour l'identification des cibles et la surveillance de l'espace aérien.

Son principe est basé sur les modes d'interrogations et les réponses associées retransmise par les transpondeurs embarqué.

#### **I.4. La tour de control :**

Une composante majeure de l'aéroport, la tour de contrôle est, ne serait-ce que par sa hauteur, le bâtiment le plus caractéristique sur un aérodrome.

Elle est facilement reconnaissable, même intégrée à un bloc technique ou à l'aérogare.

On a pris l'habitude d'appeler tour de contrôle indifféremment l'ensemble constitué par le fût et la vigie, ou la vigie seule lorsque celle-ci est plus ou moins rattachée à son immeuble support.

Le bloc technique abrite les organismes qui assurent la circulation aérienne et l'assistance météorologique sur l'aérodrome, le contrôle de la circulation aérienne, la sécurité en vol et au sol, la maintenance des équipements de navigation aérienne... Il peut également contenir les bureaux de divers organismes, entre autres le Service Local des Bases Aériennes, la Gendarmerie des Transports Aériens, le gestionnaire de l'aérodrome, d'autres services de l'Aviation Civile et de la Météorologie.

#### **I.5. classifications des aérodromes :**

Les aérodromes terrestres ouverts à la CAP (Circulation Aérienne Publique) sont classés dans 5 catégories, suivant la longueur d'étape et l'accessibilité :

CATÉGORIE A : Aérodrome important spécialisé au trafic international (étapes > 3000 km) mais pouvant être ouvert également aux autres avions (court et moyen-courrier)

CATÉGORIE B : Aérodrome spécialisé moyen et court courrier (étapes > 1000 km et < 3000 km) mais ouvert également aux autres avions

CATÉGORIE C : Aérodrome destiné au trafic court courrier (étapes < 1000 km), à l'aviation d'affaires et au grand tourisme. L'aviation légère y est admise

CATÉGORIE D : Aérodrome destiné à la formation aéronautique, aux sports aériens, à l'aviation légère, d'affaires et au grand tourisme

CATÉGORIE E : Aérodrome spécialisé pour les giravions, dirigeables et aux aéronefs à décollage vertical ou oblique

#### **I.6. Code aéroports :**

##### **➤ Code OACI :**

Le code OACI des aéroports est un code de classement géographique à quatre lettres attribué à chaque aéroport à travers le monde.

Ces codes sont définis par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI, soit ICAO en anglais).

Les codes OACI sont utilisés lors du contrôle du trafic aérien et dans les opérations telles que le plan de vol. Ils ne sont pas les mêmes que les codes AITA, plus intuitifs et visibles du grand public. Ils sont en effet utilisés pour les horaires des lignes aériennes, les réservations et le marquage des bagages par exemple.

Les codes OACI sont également utilisés pour identifier les stations météorologiques, qu'elles soient ou non localisées sur un aéroport. Contrairement aux codes AITA, les codes OACI ont une structure géographique, et suivent pour la plupart ce principe :

- La première lettre détermine la zone géographique,
- La seconde désigne le pays,
- Les deux dernières sont utilisées pour identifier chaque aéroport.

**Ex:** EBBR : AEROPORT DE BRUXELLES, A ZAVENTEM, Belgique

#### ➤ **Code AITA :**

Le code AITA (ou code IATA) est un code de trois lettres attribué par l'Association Internationale du Transport Aérien à un aéroport.

Il y a cependant plusieurs codes AITA :

- C'est un code de trois lettres attribué à chaque aéroport dans le monde
- Un code similaire est également attribué aux gares ferroviaires importantes, situées sur des lignes ferroviaires en connexion avec des lignes aériennes
- C'est aussi un code de deux lettres attribué à chaque compagnie aérienne

**Ex:** BRU : AEROPORT DE BRUXELLES, BRUXELLES (BELGIQUE)

#### **Conclusion :**

Les appareils utilisant un aéroport vont ailleurs et viennent d'ailleurs. L'infrastructure doit tenir compte des nombreuses variables inhérentes au trafic sur les réseaux : aéronefs, natures des échanges (tourisme, affaires, aviation en générale, trafics réguliers et non réguliers, fret, poste, etc).

Les deux parties de l'infrastructure, celle qui est à l'usage des aéronefs (aérodrome) et celle qui est à l'usage des passagers et du fret (aérogare), doivent être adaptées au mieux à l'ensemble de ces variables.

**Chapitre II :**  
**CAPACITE DU SYSTEME**  
**PISTE(S)**

## **Introduction :**

Cette partie a pour objectif dans un premier temps, de définir généralement la capacité aéroportuaire et nous présenterons en détaille la capacité du système piste. Dans un deuxième temps, sont présentés les paramètres qui influent sur la capacité côté piste (piste, voies de circulation et aires de stationnement), ensuite nous parlerons sur les méthodes d'évaluation de la capacité.

### **II. 1. Définitions :**

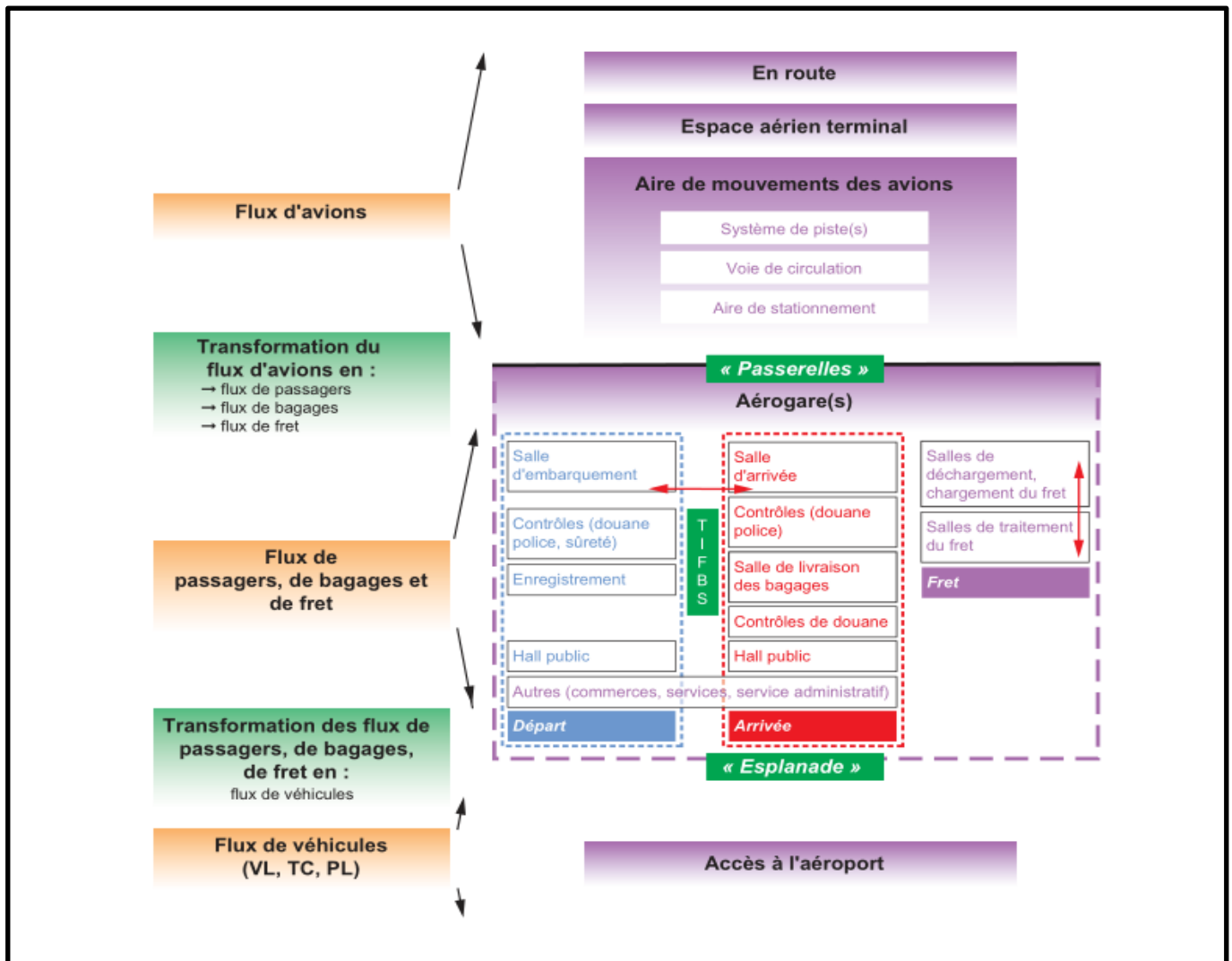
L'aéroport est composé de plusieurs maillons et sa capacité dépend du maillon le plus faible de la chaîne aéroportuaire. Elle doit donc faire l'objet d'une analyse globale sur l'ensemble des maillons de cette chaîne, à savoir: l'espace aérien terminal, le système de piste(s), les voies de circulation,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

La définition générale peut s'appliquer à chacun d'entre eux afin d'en évaluer la capacité. Il faut au préalable déterminer le type de demandes (passagers, mouvements d'avions, bagages, fret...), la période de temps (l'heure, l'année...), la qualité de service (minutes de retards, densité...), la nature et le volume d'offres (nombre d'équipements, performance des équipements...).

### **II.2. Ensemble de maillons aéroportuaires et les flux qu'ils traitent :**

Chaque maillon a ses propres caractéristiques physiques et ses procédures. Certains éléments permettent le traitement de débit d'avions, de passagers, de bagages et/ou de fret. D'autres représente un moyen de transformation de flux d'un élément en un autre (voir figure). Ainsi, on distingue souvent le côté piste qui concerne l'aire de mouvements des avions (voir figure), de l'aérogare et du côté ville qui concerne les accès à l'aéroport.





**Figure II-1:** Organigramme d'ensemble de maillons aéroportuaires et les flux qu'ils traitent

Le schéma représente les principaux maillons constituant la chaîne du transport aérien. Nous considérons que les maillons aéroportuaires sont les composants de l'aéroport ou au voisinage de l'aéroport qui permettent le traitement des avions et de ses éléments transportés: passagers, bagages et fret.

- L'aire de mouvements des avions est constituée du système de piste(s), des voies de circulation et des aires de stationnement. Ces éléments permettent le traitement du flux des avions arrivant, décollant ou survolant l'aéroport.
- Le maillon « aérogare » est décomposé en sous maillons, ou modules, permettant de traiter quatre types de flux de passagers, de bagages et de fret:

- le flux des arrivées des passagers et des bagages (en rouge),
- le flux des départs des passagers et des bagages (en bleu),
- le flux des passagers, des bagages et du fret en correspondance dans le cas d'un fonctionnement en hub (matérialisé par les flèches rouges),
- le flux des arrivées et des départs du fret (en violet).

Des sous-maillons, ou modules, (en vert) constituent un moyen de transformation de flux d'éléments en un flux d'autres éléments, dont les principaux sont:

- la « passerelle »: c'est le moyen de transformer un flux d'avions en flux de passagers, de bagages et/ou de fret (et réciproquement). Elle peut être au contact, comme les passerelles télescopiques en prolongement du bâtiment de l'aérogare. Ou bien, elle peut être éloignée et dans ce cas, la transformation se fait à l'aide soit d'un autre véhicule (bus ou appareils nécessaires au transfert de bagages et de fret), soit sans véhicule (à pieds),
- l' « esplanade »: ce sous-module permet de transformer réciproquement les flux de passagers, bagages et fret en véhicules terrestres tels que les véhicules légers, les transports en commun et les poids lourds (transport de fret). Il regroupe des sous-maillons, tels que les parcs de stationnement, et des infrastructures spécifiques (gares de trains, de RER et de tramway),
- le tri et inspection filtrage des bagages de soute (TIFBS): ce module de traitement des bagages concerne les arrivées (lien entre les avions et les salles de livraison des bagages), les départs (tri et inspection filtrage des bagages entre l'enregistrement et les avions) et les correspondances (tri et distribution des bagages entre les avions).

### **II.3. Qu'est-ce que La capacité du système pistes :**

Le système de pistes 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:

En règle générale, la structure du trafic aérien n'est pas une conséquence mais une donnée constitutive de la capacité. La structure du trafic résulte essentiellement du marché du transport aérien, sauf en cas de saturation des infrastructures où le trafic est limité par la capacité. La structure du trafic aérien est caractérisée par la répartition des vols (heures de

pointes, densité du trafic), par la typologie des aéronefs (fonction de la masse et des dimensions géométriques) et par la répartition entre arrivées et départs. Ces paramètres génèrent d'importantes contraintes sur l'écoulement du trafic.

✓ La gestion du trafic par le service de la navigation aérienne:

Les modes de gestion du trafic (ou encore de l'alimentation du système de piste(s)) par les services de la navigation aérienne, avec notamment la prise en compte des turbulences de sillage, imposent des contraintes d'espacement en vol et au sol qui influent directement sur la capacité.

La fluidité de l'écoulement du trafic dépend également de la structure de l'espace aérien terminal (volume et sectorisation, réseau des routes d'arrivée et de départ, etc.), des moyens techniques (image et précision radar, outils d'aide au séquençage des vols, etc.), des méthodes en vigueur (organisation des flux d'arrivée et de départ, utilisation d'un système de pistes « spécialisé » ou « banalisé » dans le cas d'un doublet de pistes parallèles, règles de circulation aérienne, marges de sécurité, etc.) et de la gestion de l'armement des postes de contrôle.

La capacité peut être limitée par des contraintes dues aux nuisances sonores ou par une utilisation commune d'un même espace aérien terminal par plusieurs aéroports. Elle peut aussi être affectée par certaines conditions atmosphériques (pluie, neige, verglas, mauvaise visibilité) qui peuvent réduire fortement le débit de trafic.

✓ Les caractéristiques géométriques de l'infrastructure:

Enfin, l'infrastructure sol est l'élément déterminant, mais non unique, de la capacité théorique. Le nombre de pistes, de voies de circulation et leur agencement influent directement sur le nombre d'avion qu'il est possible de traiter et donc sur la capacité.

#### **II.4. 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:

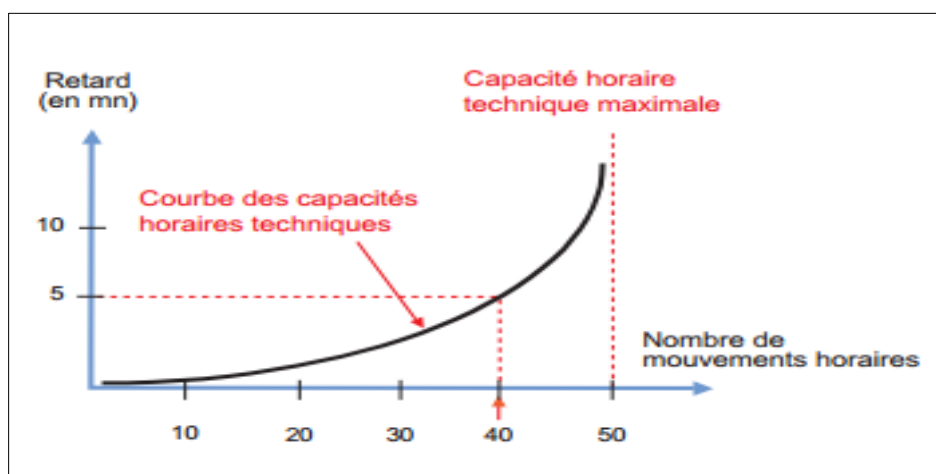
- ✓ D'une pointe de trafic donnée caractérisée par sa durée et sa structure (typologie des avions, mélange arrivé/départs);
- ✓ Des pratiques d'utilisation du système de piste(s), qui dépendent de la qualité de son alimentation, des marges de sécurité;
- ✓ D'un niveau de qualité de service (retard moyen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

#### **II.4.1. Capacité horaire technique pour le système de piste(s) :**

Le système de piste regroupe la piste, les voies de circulation et les aires de stationnement. Pour la piste, la capacité horaire technique est le débit horaire maximal d'aéronefs qui peut être écoulé pendant une heure au cours d'une période de pointe, en considérant ses pratiques d'utilisation, en respectant les règles de circulation aérienne en vigueur, et compte tenu d'un retard acceptable pour les opérateurs.

Le niveau de retard reflète la qualité du service. Il est déterminé localement sur chaque aéroport ; le retard évoqué dans cette définition est issu de la saturation de la piste.

Les retards apparaissent lorsque le nombre horaire de mouvements d'avions à traiter devient supérieur à la capacité horaire technique. La relation entre capacité horaire technique et retard se représente par le profil de courbe représenté ci-après:



**Figure II-2 :** Graphe de la Capacité horaire technique pour un retard de 5 mn

## **II.4.2. Capacité technique pour une aérogare :**

Par définition, la capacité horaire technique pour une aérogare représente le débit de passagers et de bagages qui peuvent être écoulés par une aérogare pendant l'unité de temps retenu en respectant les contraintes de sûreté, une qualité de service et en intégrant son mode de fonctionnement.

Le niveau de qualité de service dépend de:

- du temps d'attente et de traitement aux différents points de passage,
- des surfaces allouées par passager aux différents points d'attente,
- de la lisibilité et compréhensibilité des circulations pour les passagers,
- des services commerciaux offerts.

Pour les aérogares, il existe plusieurs capacités horaires:

- $C_p$  ou capacité totale, comprend l'ensemble des passagers à l'arrivée et au départ,
- $C_d$  ou capacité départ, comprend l'ensemble des passagers au départ quel que soit le régime du vol,
- $C_{dnat}$  ou capacité départ national, comprend les passagers au départ et sur un vol dit national,
- $C_{dint}$  ou capacité départ international, comprend les passagers au départ et sur un vol dit international,
- $C_a$  ou capacité arrivée, comprend l'ensemble des passagers à l'arrivée quel que soit le régime du vol,
- $C_{anat}$  ou capacité arrivée national, comprend les passagers au départ et sur un vol dit national,
- $C_{aint}$  ou capacité arrivée international, comprend les passagers à l'arrivée et sur un vol dit international.

Ces différentes capacités ne sont pas forcément égales et les capacités au départ ou à l'arrivée en régime national sont souvent supérieures aux capacités départ ou arrivée respectivement.

Prenant pour exemple d'application une salle d'embarquement mesurant  $100 \text{ m}^2$  et pouvant être utilisée soit entièrement en régime national (ou international), soit en étant séparée en deux parts égales (l'une pour les vols nationaux et l'autre pour les vols internationaux), et en prenant les niveaux de qualité de service suivant:

- ✓  $1 \text{ m}^2/\text{pax}$  pour les passagers en régime national et  $2 \text{ m}^2/\text{pax}$  en régime international, les différentes capacités horaires arrivées seront:
- $C_d = 50/1 + 50/2 = 75 \text{ pax/h}$
- $C_{\text{dnat}} = 100/1 = 100 \text{ pax/h}$
- $C_{\text{dint}} = 100/2 = 50 \text{ pax/h}$

À ces capacités qui ne concernent que le passager en tant que tel il convient d'ajouter le hall public de l'aérogare devant accueillir des accompagnants au départ ou des attendant à l'arrivée. Ces modules qui ont un caractère de convivialité non nécessaire au bon traitement du passager stricto sensu peuvent être considérées ou non comme dimensionnés par le gestionnaire.

## **II.5. La capacité déclarée :**

### **II.5.1. définition :**

La capacité déclarée est fixée par les autorités aéroportuaires. Elle représente le débit maximal de trafic qu'un aéroport est en mesure d'accepter, en prenant en compte l'ensemble des éléments de la chaîne aéroportuaire (espace aérien terminal, système de piste(s), voies de circulation, aires de stationnement, aérogare, accès routier ou ferroviaire) ainsi que certaines contraintes extérieures (environnement). Il s'agit d'une valeur représentant un objectif affiché par l'aéroport. Elle est nécessairement inférieure ou égale à la capacité technique.

La capacité déclarée est une valeur choisie parmi les valeurs de capacité technique possibles. Les aéroports peuvent choisir de placer la capacité déclarée plus ou moins près de la capacité optimale en indiquant aux compagnies aériennes que le retard sera de telle ou telle valeur. Les aéroports sont en mesure de supporter une capacité technique supérieure à certains moments de la journée lorsque les paramètres sont favorables. Elle détermine notamment le volume de créneaux horaires qui peuvent être proposés aux compagnies aériennes.

### **II.5.2. Application de capacité déclarée: la capacité de programmation :**

La capacité de programmation est le nombre maximal de vols programmés par les compagnies aériennes sur une période de temps donnée. La notion de capacité de programmation, qui est une variante de la capacité déclarée. Elle permet à un comité des

horaires, qui se réunit tous les six mois, Au cours de cette concertation, la période de temps est choisie. C'est un multiple de 5 minutes et c'est au maximum une heure.

Sur un aéroport où la demande de trafic excède la capacité pendant une certaine période de la journée, un processus attribuant, suivant certaines règles, aux compagnies aériennes des créneaux horaires, heures prévues de décollage ou d'atterrissage, peut être mis en place sur la base d'une capacité de programmation limitée. L'aéroport est alors coordonné.

Ce processus évite que le niveau de retards devienne trop important sur une période assez longue de la journée. La qualité de service offerte aux compagnies aériennes et donc aux passagers reste acceptable.

La programmation des vols devra par la suite tenir compte du niveau fixé: le nombre de mouvements ne pourra excéder la capacité horaire de programmation (ce niveau est généralement fixé sur une plage d'environ 10 à 20 minutes).

## **II.6. Capacité annuelle :**

Capacité annuelle pour les mouvements : C'est le débit annuel maximal d'aéronefs qui peut être écoulé par le système de piste(s) au cours d'une année, en considérant ses pratiques d'utilisation, et compte tenu du respect des règles de sécurité et d'un retard des vols acceptable pour les opérateurs.

Capacité annuelle pour les passagers : C'est le débit annuel maximal de passagers qui peut être écoulé par un aéroport au cours d'une année, en considérant ses pratiques d'utilisation, compte tenu d'un certain niveau de qualité de service et dans le respect des règles de sécurité et de sûreté.

## **II.7. Comment le coté piste influence-t-il sur la capacité aéroportuaire ? :**

En étant donné que le système piste est le maillon limitant de la capacité aéroportuaire de manière générale.

Alors que la capacité dépend du temps minimum nécessaire au traitement des éléments qui entrent dans l'un des systèmes et de la fréquence d'apparition dans ce système.

Donc les systèmes retenus côté piste concernent le système de piste(s), les voies de circulation et les aires de stationnement. Les éléments concernent les aéronefs. L'analyse qui est faite concerne les avions, et non sur les hélicoptères, même si le principe reste le même.

Le temps minimum de traitement ou temps d'occupation du système piste sera par la suite appelé:

- temps d'occupation de piste (TOP) pour les systèmes de piste(s),
- temps d'occupation des voies de circulation pour les voies de circulation,
- temps d'occupation des aires de stationnement pour les aires de stationnement.

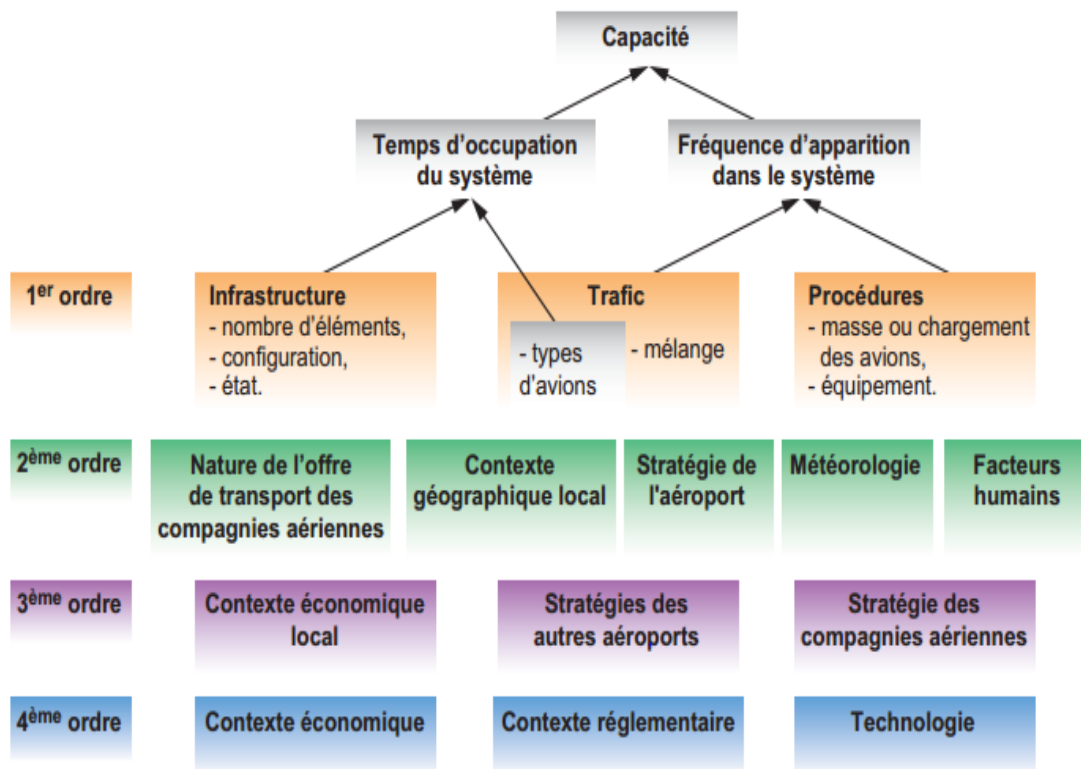
La fréquence d'apparition dans un système est le nombre d'avions qui se présentent pendant une unité de temps:

- à l'atterrissage ou au décollage sur le système de piste(s),
- à l'entrée dans le réseau des voies de circulation lors du roulage,
- à l'entrée dans les aires de stationnement lors du traitement au sol des avions.

À l'issue du traitement, et après un temps égal au temps minimum nécessaire au traitement (appelé aussi temps d'occupation du système), l'avion sort du système. Il a alors fini:

- de décoller ou d'atterrir,
- de rouler pour entrer sur la piste ou sur les aires de stationnement,
- de stationner pour commencer le roulage qui le mène à la piste de décollage.





**Figure II-3** : organigramme des paramètres influençant sur le niveau de capacité côté piste.

Les paramètres sont classés en quatre groupes, allant du groupe de paramètres de premier ordre à celui de quatrième ordre.

Les groupes ont été établis en fonction du niveau d'influence des paramètres sur la capacité :

- Les facteurs de premier ordre regroupent les composants techniques qui ont un impact direct sur le temps d'occupation du système et sur la fréquence d'apparition dans le système. Ce sont les facteurs sur lesquels le planificateur peut agir, dans la limite des règles de sécurité.
- Les facteurs de deuxième ordre ont une influence directe sur les facteurs de premier ordre. Ils relèvent en partie du planificateur et de la stratégie de l'aéroport concerné.
- Les facteurs de troisième et quatrième ordres ont une influence sur, respectivement, les facteurs de deuxième et troisième ordres. Ils relèvent de stratégies plus globales (au moins au niveau national). Le niveau d'influence du planificateur s'amointrit du 1er au 4e ordre et dépend du niveau d'influence du planificateur (local ou national).

Faut retenir comme définition du « planificateur » la personne morale ou physique qui établit la planification des infrastructures et de l'activité, ainsi que les documents nécessaires, compte tenu de la stratégie de l'ensemble des acteurs concernés.

## **II.8 Analyse des facteurs de premier ordre: Évaluation de la capacité horaire technique :**

Les facteurs de premier ordre regroupent les composants techniques qui ont un impact direct sur le temps d'occupation du système (piste(s), voies de circulation ou aire(s) de stationnement) et sur la fréquence d'apparition dans le système. Ce sont les facteurs sur lesquels le planificateur peut agir le plus.

Les principaux facteurs ayant un impact direct sur le niveau de la capacité technique sont:

- l'infrastructure: nombre, configuration et état des éléments (piste(s), sortie(s), voies de circulation, aire(s) de stationnement)
- le trafic: nature, mélange entre les catégories d'avions, mélange entre arrivées et départs,
- les procédures: elles concernent les éléments qui induisent un espacement temporel ou spatial des avions. Certaines sont réglementaires et nécessaires pour des raisons de sécurité. D'autres sont dépendantes des caractéristiques locales et des contraintes opérationnelles. Elles dépendent notamment de l'organisation des flux d'arrivées et de départs dans l'espace aérien terminal, et du niveau d'équipement de l'aéroport (radar, radar sol, ILS...).

### **II.8.1. Facteurs de premier ordre du système de piste(s) :**

Le nombre d'avions traités par le système de piste(s) pendant une heure dépend du temps résultant de l'espacement entre avions en raison des procédures réglementaires et du temps d'occupation de piste(s).

Les facteurs de premier ordre qui ont une influence sur le temps d'occupation de piste et sur la fréquence d'atterrissages et de décollages sont décrits pour les trois types de séquences suivantes:

- pour une séquence d'avions qui atterrissent,
- pour une séquence d'avions qui décollent,

- pour une séquence d'avions qui enchaînent tour à tour atterrissages et décollages.

La description des facteurs de premier ordre de chaque séquence sera faite pour les principaux types de systèmes de pistes suivants:

- système de piste unique : Ce système de piste n'est constitué que d'une seule piste sur laquelle se font les atterrissages et les décollages



**Figure II-4 :** L'aire de manœuvre de l'aéroport San Diego

- système de pistes parallèles:

- Doublet de pistes: pistes parallèles rapprochées,
- Pistes parallèles éloignées,

Les doublets de pistes parallèles sont caractérisés, d'une part par l'écartement de l'axe de pistes (doublet rapproché ou éloigné), d'autre part par l'utilisation prévue des pistes (doublet de pistes spécialisées, doublet banalisé, doublet de pistes de catégories différentes, utilisées à vue ou aux instruments). Les fonctionnements décrits pour le système de pistes parallèles sont valables pour les systèmes de pistes quasi parallèles, c'est-à-dire pour les systèmes dont les pistes sont convergentes avec un angle de moins de 15°.

- Système de pistes convergentes,

-Système de pistes sécantes : ces systèmes de pistes sont constitués de deux pistes sécantes.

➤ Modes d'exploitation possibles des systèmes de pistes parallèles :

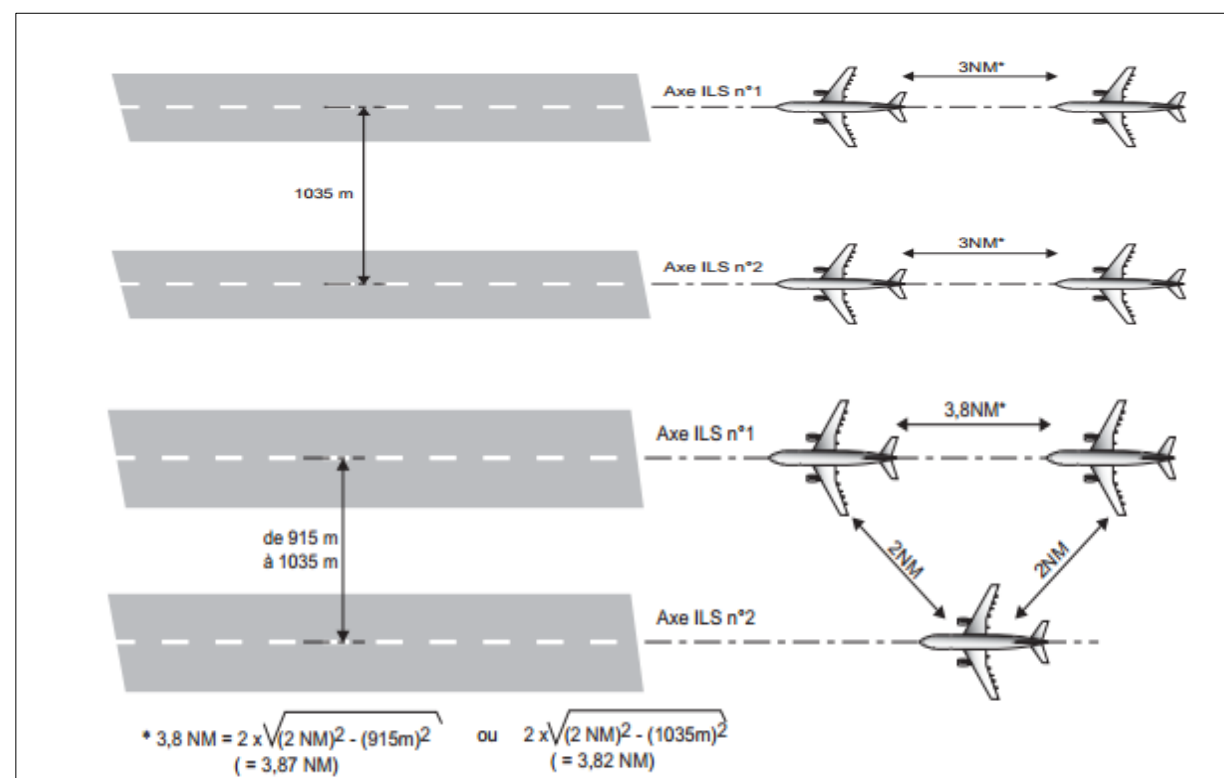
**Pistes parallèles banalisées :** les atterrissages et les décollages s'effectuent indifféremment sur l'une ou l'autre piste. Parmi les fonctionnements possibles d'un système de pistes

parallèles banalisées, trois modes sont identifiés. Leur utilisation dépend de la distance entre les axes de pistes (Les caractéristiques des systèmes de pistes parallèles):

**Mode 1:** approches indépendantes. Il s'agit d'approches effectuées simultanément en direction de pistes parallèles sans que les avions utilisant les ILS adjacents soient soumis à une séparation radar minimale. La séparation entre avions ne concerne que les avions se trouvant sur un même axe ILS (séparation standard entre avions suivant la masse maximale au décollage).

**Mode 2:** approches interdépendantes. Il s'agit d'approches effectuées simultanément en direction de pistes parallèles avec imposition d'une séparation radar minimale aux avions utilisant les ILS adjacents.

La séparation entre avions concerne les avions se trouvant sur un même axe ILS (séparation standard entre avions suivant la masse maximale au décollage) et les avions sur les axes ILS adjacents. Dans ce dernier cas, la séparation est de 2NM.



**Figure II-5 :** modes d'exploitation possible des systèmes de pistes parallèles

\* Les espacements de 3NM sont ceux respectés pour les raisons de turbulences de sillages ou de séparation radar. Ils sont indicatifs dans ces schémas mais sont supérieurs entre des avions de tonnages différents.

\*La séparation entre avions concerne les avions se trouvant sur un même axe ILS (séparation standard entre avions suivant la masse maximale au décollage) et les avions sur les axes ILS adjacents. Dans ce dernier cas, la séparation est de 2NM.

**Mode 3** : départs indépendants. Il s'agit des départs simultanés d'avions décollant dans le même sens à partir de pistes parallèles.

**Système de pistes spécialisées** : Cette spécialisation peut être valable quel que soit le QFU (dans ce cas, la piste réservée aux atterrissages peut être plus courte) ou associée à un QFU. Elle constitue le quatrième mode d'exploitation d'un système de pistes parallèles (mode 4).

**Système de pistes parallèles de catégories différentes** : la piste principale est destinée à une certaine catégorie d'aéronefs (commerciaux, rapides, réacteurs, etc.). La piste secondaire est destinée aux autres catégories. Cette disposition de pistes est fréquemment adoptée sur les aérodromes où l'aviation légère est importante.

#### **II.8.1.a. Pour une séquence d'avions atterrissant :**

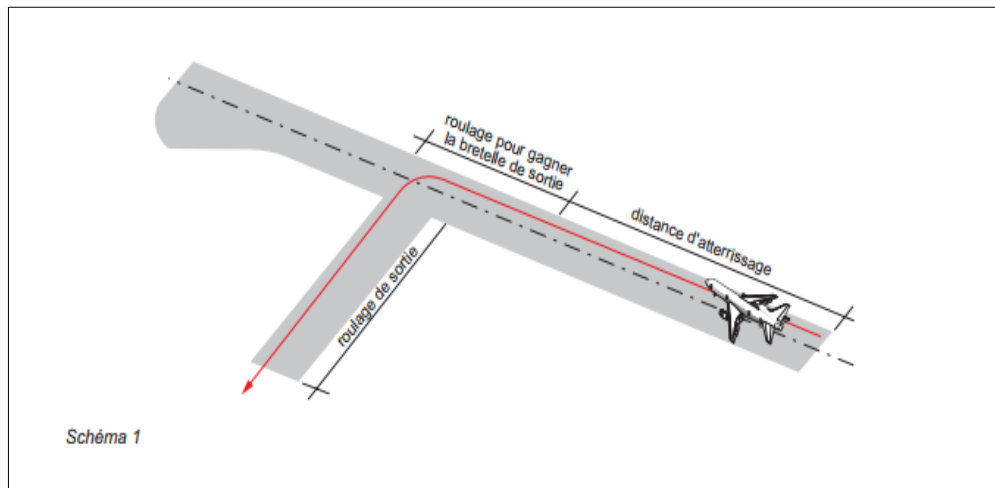
- **L'influence de l'infrastructure et des performances des avions détermination du temps d'occupation de piste (TOP) :**

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

1. l'avion passe au-dessus du seuil de piste,
2. l'avion quitte la piste et passe le point situé à 90 mètres de l'axe de piste (90 m retenus concernent le dégagement des servitudes pour l'exploitation des pistes aux instruments en catégories I. Cette distance est de 75 mètres pour les pistes utilisées à vue, et de 150 mètres pour l'exploitation des pistes aux instruments en catégorie II et III.).

Le TOP dépend de l'infrastructure et des caractéristiques des avions qui fréquentent la piste.

1er cas: la distance de freinage est inférieure à la distance entre le seuil de piste et la bretelle de sortie Le schéma 1 donne la décomposition du temps d'occupation de piste à l'arrivée.



**Figure II-6 :** la décompositions du temps d'occupation de piste à l'arriver 1<sup>er</sup> cas

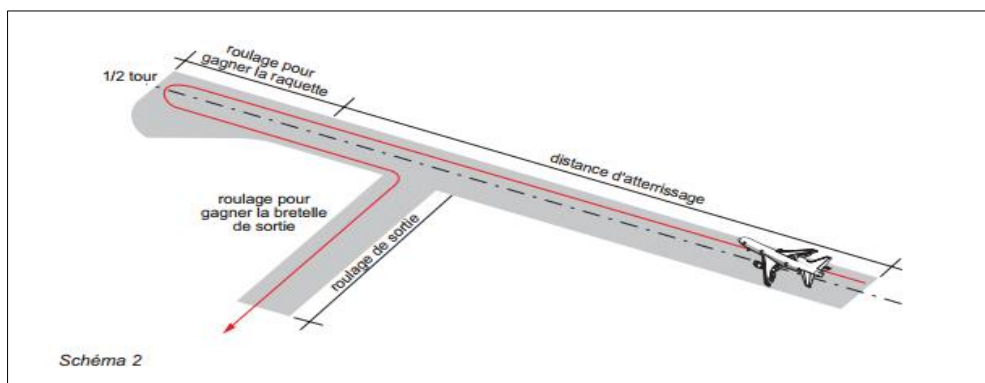
On peut distinguer:

- le temps nécessaire à la distance d'atterrissage,
- le temps de roulage jusqu'à la bretelle de sortie,
- le temps de roulage pour la sortie (sur la bretelle).

La distance d'atterrissage est donnée par les constructeurs d'avion. Elle dépend de la masse de chargement de l'avion, de sa vitesse d'approche, et du freinage.

Le temps de roulage jusqu'à la bretelle de sortie et le temps de roulage pour la sortie dépendent de la vitesse de roulage de l'avion et de la position de la bretelle de sortie.

2e cas: la distance de freinage est supérieure à la distance entre le seuil de piste et la bretelle de sortie Le schéma 2 présente un cas extrême de positionnement de bretelle lorsque la distance d'atterrissage est plus grande que la distance entre le seuil de piste et la bretelle de sortie.



**Figure II-7 :** la décompositions du temps d'occupation de piste à l'arriver 2<sup>ème</sup> cas

C'est-à-dire que le freinage de l'avion n'est pas suffisant pour lui permettre de sortir à la bretelle en question. Ce cas a lieu lorsqu'il y a peu de bretelles de sortie ou qu'elles sont mal positionnées pour l'avion considéré. Dans ce cas, la décomposition du temps d'occupation de piste à l'arrivée devient:

- le temps nécessaire pour parcourir la distance d'atterrissage,
- le temps de roulage jusqu'à la bretelle de sortie, se décomposant en:
  - temps de roulage jusqu'à la raquette de retournement,
  - temps de demi-tour,
  - temps de roulage entre la raquette et la bretelle de sortie,
- le temps de roulage pour la sortie (sur la bretelle). Le TOP peut alors être très important puisqu'un demi-tour prend entre 50 et 60 secondes, et que la vitesse de roulage sur piste est comprise entre 8 à 15 Kt , soit 4 à 8 mètres par seconde.

Les principaux paramètres présentés ici sont donc:

- la distance de freinage de l'avion qui dépend de la masse, de la vitesse d'approche, des performances au freinage et de la vitesse de sortie,
- la position de la bretelle de sortie,
- la configuration de la sortie: sortie droite ou rapide.

➤ **L' influence des procédures et des caractéristiques des avions : détermination de la fréquence d'atterrissages pour une piste dédiée aux atterrissages :**

Cas général :

Les procédures sont les règles, imposées aux pilotes, qui induisent des séparations temporelles ou spatiales entre avions pour assurer leur sécurité et éviter les collisions. Certaines sont réglementaires, d'autres propres à la plate-forme. L'influence des procédures est la même pour chacune des pistes dédiées aux atterrissages d'un doublet éloigné banalisé, pour la piste dédiée aux atterrissages d'un doublet éloigné spécialisé, d'un doublet rapproché spécialisé et d'un système de pistes sécantes ou convergentes de plus de 15°. Dans le cas d'un doublet éloigné banalisé, la fréquence d'atterrissages est double de celle d'une seule piste dédiée aux

atterrissages. Les principales procédures réglementaires, et nécessaires pour des raisons de sécurité, sont:

- les espacements nécessaires pour les turbulences de sillage,
- l'espacement radar.

Les principales procédures liées au contexte local, et dépendantes aussi des règles de sécurité, sont:

- la longueur d'approche finale,
- la limite d'autorisation d'atterrir,
- le verrou

➤ **Les procédures réglementaires :**

Les procédures réglementaires sont édictées par le Règlement de la Circulation Aérienne. Les minima d'espacement résultant des turbulences de sillage à appliquer entre deux aéronefs en vol sont exprimés en temps (minutes ou secondes)

Avion suiveur \ Avion de tête	Light MTOW ≤ 7 t	Medium 7 t < MTOW ≤ 136 t	Heavy MTOW > 136 t
Light	(*)	(*)	(*)
Medium	180 s	(*)	(*)
Heavy	180 s	120s	(*)

**Tableau II-1:** Les minima d'espacement résultant des turbulences de sillage

Lorsque l'aéroport est équipé d'un radar, ces espacements sont remplacés par des séparations radar exprimées en (NM).



Avion suiveur Avion de tête	Light MTOW $\leq 7$ t	Medium 7 t < MTOW $\leq 136$ t	Heavy MTOW > 136 t
Light	(*)	(*)	(*)
Medium	4 NM	(*)	(*)
Heavy	6 NM	5 NM	4 NM

**Tableau II-2:** Les minima d'espacement résultant des turbulences de sillage exprimé en NM

(\*) pas de contrainte d'espacement due à la turbulence de sillage

MTOW : Maximum Take - Off Weight

➤ **Les caractéristiques locales en matière de procédures :**

LA LONGUEUR D'APPROCHE FINALE est la trajectoire que les avions suivent afin d'atteindre le seuil de piste. Son origine est en général située à une distance comprise entre 6 et 10 NM du seuil de piste. Les séparations pour turbulences de sillage s'appliquent entre les avions sur cette trajectoire.

LA LIMITE D'AUTORISATION D'ATERRIR est un point situé à environ 2 NM sur la trajectoire d'approche finale à partir duquel l'avion est autorisé à atterrir et devient prioritaire sur l'utilisation de la piste.

LE VERROU est un point fictif situé en amont du seuil de piste sur la trajectoire d'approche finale à partir duquel les arrivées sont prioritaires. L'espacement minimal à appliquer entre un avion à l'atterrissage et un avion au départ correspond à la distance entre le verrou et le seuil de piste. En d'autres termes, il est positionné de façon à ce qu'un avion autorisé à décoller ou à traverser la piste ait dégagé la piste au moment où l'avion à l'atterrissage arrive à la limite d'autorisation d'atterrir.

Dans ce cas, ce dernier peut recevoir sa clairance d'atterrissage dans la mesure où la piste est dégagée il ne doit pas être délivré de clairance d'atterrissage à un aéronef tant que l'aéronef qui le précède n'a pas franchi l'extrémité de piste ou amorcé un virage). La clairance de décollage ou de traversée de piste est donnée tant que l'avion à l'atterrissage n'a pas atteint le verrou.

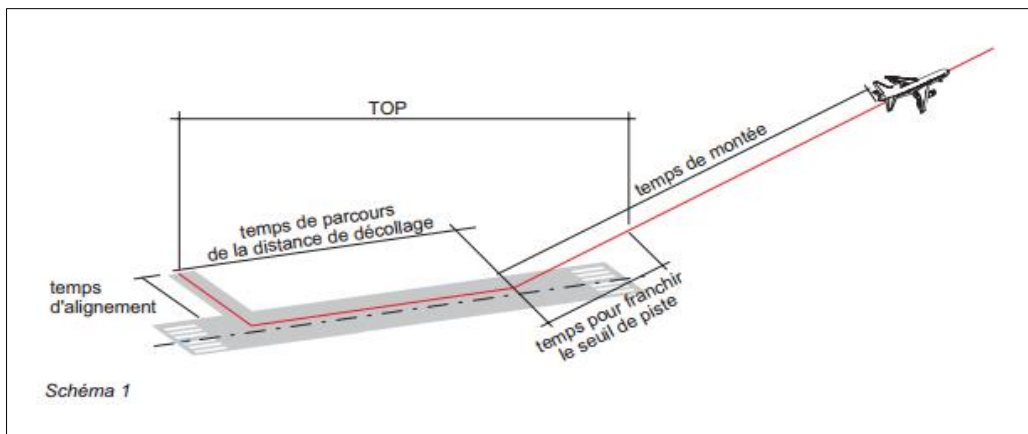
### II.8.1.b. Pour une séquence d'avions qui décollent :

#### ❖ Influence de l'infrastructure et des performances des avions au décollage: détermination du temps d'occupation de piste (TOP) :

Tous comme dans le cas des avions à l'atterrissage, ce TOP dépend de l'infrastructure et des caractéristiques des avions qui fréquentent la piste.

1er cas: la distance au décollage est inférieure à la distance entre la bretelle et le seuil de piste  
Le schéma 1 décrit cette situation pour laquelle le TOP au départ se décompose en:

- temps de roulage pour l'alignement,
- temps de parcours de la distance au décollage,
- temps de vol entre le moment où les roues ont quitté le sol et le moment où l'avion franchit le seuil de piste.



**Figure II-8 :** schéma de décomposition de temps d'occupation de piste 1<sup>er</sup> cas

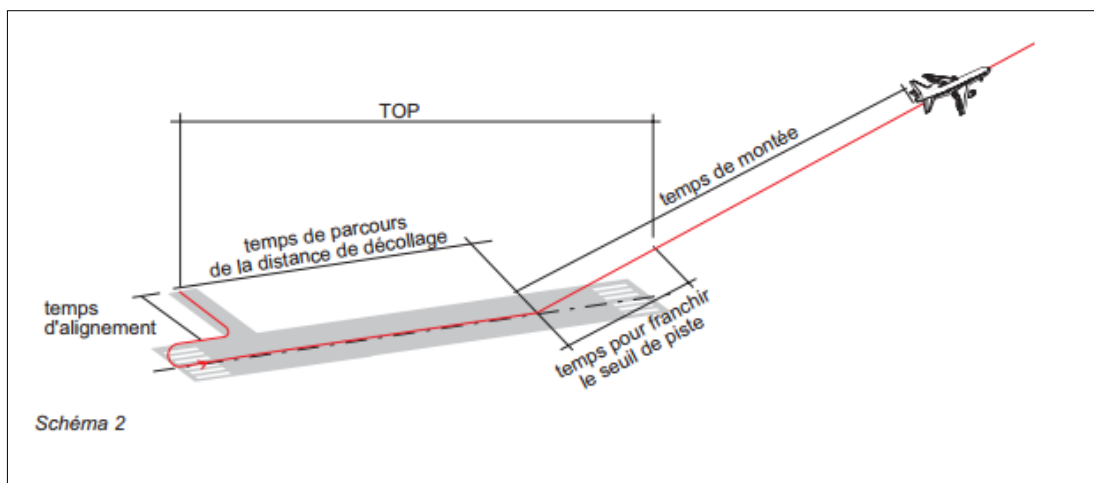
2e cas: la distance au décollage est supérieure à la distance entre la bretelle et le seuil de piste  
Le schéma 2 présente cette situation pour laquelle le TOP au décollage se décompose en:

- temps de roulage pour l'alignement comprenant:
- le temps de roulage pour gagner la raquette de retournement,
- le temps de demi-tour,
- temps de parcours de la distance au décollage,

- temps de vol entre le moment où les roues ont quitté le sol et le moment où l'avion franchit le seuil de piste. Les principaux paramètres présentés ici sont donc:

- la distance de décollage de l'avion qui dépend de la masse, du chargement, de la vitesse de roulage de l'avion et de la vitesse de décollage, taux de montée,

- la position de la bretelle d'entrée sur la piste, - la position d'une bretelle de retournement. La possibilité de diminuer le TOP pour augmenter ou adapter la capacité technique varie selon que l'on se place du point de vue de la planification aéroportuaire ou point de vue opérationnel.



**Figure II-9** : schéma de décomposition de temps d'occupation de piste 2<sup>ème</sup> cas

❖ **L'influence des procédures et des performances des avions qui décollent :**  
**détermination de la fréquence de décollage :**

Cas général :

Les procédures sont les facteurs qui induisent des séparations temporelles ou spatiales entre avions pour assurer leur sécurité. Certaines sont réglementaires, d'autres propres à la plateforme. Elles s'appliquent à chacune des pistes d'un doublet éloigné banalisé et de la piste dédiée aux décollages d'un doublet spécialisé, d'un système de pistes sécantes ou convergentes de plus de 15°, et d'une piste unique. Dans le cas d'un doublet éloigné banalisé, la fréquence de décollage est double de celle d'une seule piste dédiée aux décollages.

Pour la capacité, les principales procédures réglementaires prises en compte pour le décollage sont:

-les espacements nécessaires pour les turbulences de sillage,

-l'espacement radar,

-l'organisation judicieuse de séquence d'avions.

La principale procédure liée au contexte local est la présence de routes divergentes.

➤ **Les procédures réglementaires :**

Les procédures réglementaires sont édictées par le Règlement de la Circulation Aériennes  
Les minima d'espacement résultant des turbulences de sillage à appliquer entre deux aéronefs au départ sont explicités dans le tableau suivant.

Avion suiveur Avion de tête	Light MTOW ≤ 7 t	Medium 7 t < MTOW ≤ 136 t	Heavy MTOW > 136 t
Light	(*)	(*)	(*)
Medium	120s (180 s)	(*)	(*)
Heavy	120s (180 s)	120s (180 s)	(*)

**Tableau II-3 :** les minima d'espacement au départ

(\*) Pas de contrainte d'espacement due à la turbulence de sillage

1 : pour un départ de l'avion suiveur d'une bretelle située à une partie intermédiaire de la piste

MTOW : Maximum Take — Off Weight

La capacité horaire technique va dépendre du temps d'occupation de piste lorsqu'il n'y a pas de contrainte de turbulences de sillage.

Lorsqu'il y a des contraintes, la capacité horaire technique au départ va dépendre essentiellement de la séparation temporelle imposée par le RCA3 (Règlementation de Circulation Aériennes — fascicule n° 3).

➤ **Les procédures liées au contexte local :**

La principale procédure liée au contexte local est la présence de routes divergentes. Elles permettent de faire décoller un avion sur une autre route afin d'éviter les rattrapages d'avions ayant des vitesses différentes.

**II.8.1.c. Pour un mélange d'atterrissages et de décollages :**

La capacité horaire technique pour une séquence enchaînant tour à tour des avions à l'atterrissage et au décollage va dépendre du temps entre un atterrissage et un décollage ou entre un décollage et un atterrissage. Il dépend principalement des temps d'occupation de piste à l'arrivée et au décollage et de la configuration du système de piste(s).

La détermination des TOP à l'atterrissage et au décollage a été présentée respectivement aux paragraphes précédent. Dans cette partie l'influence de la fréquence d'apparition des avions dans le système de piste(s) et des configurations de piste(s) pour une piste unique, un doublet de pistes parallèles et un doublet de pistes sécantes qui seront traité.

➤ **Pour une piste unique :**

Le temps minimum entre un décollage et un atterrissage est égal au temps de parcours de l'avion à l'atterrissage entre le verrou et le seuil de piste car le TOP au décollage de l'avion de tête est inférieur à ce temps.

L'espacement minimal à appliquer entre un avion au départ et un avion à l'arrivée correspond donc à la distance entre le verrou et le seuil de piste. Le temps minimum entre un atterrissage et un décollage qui suit est égal au TOP à l'arrivée de l'avion de tête.

➤ **Pour des pistes parallèles en mode banalisé ou en mode spécialisé :**

Pour un doublet éloigné de pistes parallèles en mode banalisé ou en mode spécialisé, les mouvements simultanés ont lieu, c'est-à-dire que les décollages et les atterrissages se font en même temps. Les atterrissages n'ont pas de contraintes sur les décollages, et les décollages n'ont pas de contraintes sur les atterrissages.

○ **Pour un doublet de pistes parallèles rapprochées spécialisées :**

• **Cas général :**

Pour un doublet de pistes parallèles rapprochées spécialisées, le temps minimum entre un avion au décollage et un avion à l'atterrissage est égal au temps de parcours de l'avion à l'atterrissage de la limite d'autorisation d'atterrir au seuil de piste.

Le temps minimum entre un avion à l'atterrissage et un avion au décollage est égal au temps d'occupation partielle de piste (TOPP). Une clairance de décollage ne peut être délivrée que lorsque l'avion de tête (arrivée) est stabilisé sur la piste car celui-ci n'effectuera pas d'approche interrompue. C'est la durée nécessaire à l'avion de tête pour parcourir le trajet entre le seuil d'exploitation et le point de stabilisation au sol. Il faut souligner que, sous certaines conditions de visibilité (VMC), le TOPP peut être fortement réduit (10 à 12 secondes environ).

• **Procédures permettant des mouvements simultanés sur des doublets parallèles par temps correct :**

L'autorité compétente des services de la circulation aérienne après consultation des principaux exploitants utilisant l'aérodrome peut autoriser des procédures permettant d'exploiter un doublet de pistes parallèles de façon à faire atterrir et décoller les aéronefs de manière indépendante

• **procédures particulières sur des doublets parallèles par mauvais temps :**

En cas de météorologie médiocre, l'appareil au décollage doit commencer à rouler avant que l'aéronef à l'arrivée atteigne 2 NM du seuil de piste. Par mauvais temps, c'est à dire en LVP (Low Visibility Procedures), l'aéronef au départ a quitté la piste et se trouve au niveau du travers du Localizer de la piste à l'arrivée lorsque l'aéronef à l'arrivée atteint 1 NM du seuil de piste.

➤ **Pour un doublet de pistes sécantes :**

Dans le cas d'un doublet de pistes sécantes utilisées en mode spécialisé, l'espacement minimal (temps de croisement à l'arrivée) à appliquer au seuil de piste entre un avion à l'arrivée et un avion au départ est égal au minimum du temps de croisement à l'arrivée (temps mis par l'avion de tête pour aller du seuil à un point situé en aval du croisement à une distance de 90 m par rapport à l'axe de la piste) et du temps d'occupation de piste à l'arrivée.

Si les trajectoires de vols se croisent (croisement proche du seuil « arrivées » et éloigné du seuil « départs »), les règles sur les turbulences de sillage doivent être appliquées en ce qui concerne les départs

## **II.8.2. Facteurs de premier ordre des voies de circulation :**

### **❖ Influence de l'infrastructure et des performances des avions : détermination du temps d'occupation de la voie de circulation**

Le temps d'occupation d'une voie de circulation dépend de:

- la longueur de la voie de circulation:
- pour les avions à l'arrivée: de la distance entre la bretelle de sortie et le poste de stationnement concerné par l'avion,
- pour les avions au décollage: de la distance entre le poste de stationnement concerné par l'avion et la bretelle d'entrée sur la piste,
- la vitesse de roulage de l'avion.
- La structure du réseau des voies de circulation (croisement)

### **❖ Influence des procédures et des performances des avions: détermination de la fréquence d'utilisation de la voie de circulation :**

La fréquence d'apparition d'avions sur la voie de circulation dépend de:

- l'espacement entre avions au roulage en raison des marges de sécurité à respecter,
- pour les avions à l'arrivée: la position de la piste d'atterrissage par rapport aux aérogares. Elle peut engendrer dans le cas d'un doublet de pistes une traversée de l'autre piste. Dans ce cas, l'avion qui traverse la piste doit attendre que l'avion termine son décollage.
- pour les avions au départ: la position de la piste de décollage par rapport aux aérogares. Elle peut engendrer dans le cas d'un doublet de pistes une traversée de l'autre piste. Dans ce cas, l'avion qui traverse la piste doit attendre que l'avion termine son atterrissage. L'avion qui atterrit est prioritaire s'il a dépassé le verrou. Sur la plupart des aéroports, les avions atterrissent sur la piste extérieure et décollent sur la piste intérieure.

### **II.8.3. Facteurs de premier ordre des postes de stationnement :**

#### **❖ Influence de l'infrastructure et des performances des avions : détermination du temps d'occupation des postes de stationnement :**

Le temps d'occupation d'un poste de stationnement se décompose en:

- temps de traitement de l'avion (chargement et déchargement des passagers et des éléments nécessaires au vol — kérosène...),
- temps de repoussage si la configuration du poste l'exige,
- temps de réaction au roulage après repoussage.

Il dépend:

- de l'équipement du poste:
  - passerelle,
  - sinon liaison supplémentaire avec l'aérogare: par bus ou à pied,
- nature du poste:
  - nose-in: nécessite un repoussage,
  - nose-out (autonome),
- chargement de l'avion: dépend de la taille (catégorie d'avion) et du marché (charter, low cost, affaire).

### **II.9. L'analyse des facteurs de 2e ordre :**

Les facteurs de 2e ordre sont définis comme des facteurs ayant un impact sur les facteurs principaux. Ils ne sont pas quantifiés pour évaluer directement la capacité technique. La quantification de leur influence s'évalue en estimant les variations induites sur les facteurs principaux.

- Nature de l'offre de transport des compagnies aériennes :

La nature de l'offre de transport des compagnies aériennes correspond à:

- type d'avions dans la flotte,



- organisation des vols sur la plate-forme (hub/non hub, régulier/non-régulier). L'ensemble des types d'avions et le mélange (arrivée-départ et des types d'avions) observés sur l'aéroport résultent de la combinaison de ces facteurs imposés par chaque compagnie aérienne qui fréquente l'aéroport.

- Le contexte géographique local a un impact sur:

- les procédures en raison de la topographie qui peut engendrer des procédures particulières et plus contraignantes que les procédures standards,

- les infrastructures. La topographie, par la présence d'éléments naturels contraignants (montagne, mer), peut limiter l'extension des infrastructures (nombre de pistes, extension des voies de circulation et de stationnement),

- le trafic. L'isolement géographique de certaines régions (îles...) entraîne une ségrégation du trafic en longs courriers et courts courriers. Il y a donc un impact sur les types d'avions utilisés.

- La stratégie de l'aéroport a un impact sur la capacité car:

- l'ouverture ou la fermeture de lignes a un impact sur les types d'avions présents,

- l'attraction de type de trafic particulier (hub, low cost, charter) par une politique tarifaire particulière a un impact sur les types d'avions et sur le mélange arrivées-départs aux heures de pointe,

- le choix des investissements modifie l'infrastructure,

- la gestion opérationnelle des ressources peut être différente, notamment en ce qui concerne l'allocation des postes et des créneaux horaires (surtout pour le cas d'un aéroport coordonné),

- la qualité de service. Pour le traitement des avions, elle s'exprime en retards. Pour le traitement des passagers, elle s'exprime en retards ou en confort.

- Météorologie :

L'influence de la météorologie sur la capacité peut s'exercer des manières suivantes:

- présence de conditions défavorables: procédures IMC contraignantes, séparations entre avions accrues, LVP (low visibility procedures) qui ont un impact sur la circulation au sol des avions,
- l'état de l'infrastructure est modifié. La pluie, le gel ou la neige augmentent la glissance du sol et augmentent les distances d'atterrissage, et donc les temps d'occupation de piste(s).
- les orages et les cisaillements de vent imposent la fermeture de l'aéroport.
- Facteurs humains :

Les facteurs humains sont surtout liés aux pilotes. Ils influencent le niveau de capacité à travers:

- le temps de réaction des pilotes aux clairances pour l'alignement et pour le décollage. Ils augmentent le TOP au décollage,
- l'entraînement: la connaissance de l'avion permet au pilote de freiner plus efficacement et d'emprunter les bretelles de sortie qui minimisent les TOP à l'arrivée,
- la connaissance du terrain: elle permet au pilote d'emprunter les bretelles de sortie qui minimisent les TOP à l'arrivée. Ce point est particulièrement notable pour les pilotes de la compagnie basée sur l'aéroport,
- les recommandations de la compagnie pour le confort des passagers au freinage induisent parfois des freinages moins forts si bien que la distance d'atterrissage est longue. Dans ce cas, le TOP à l'atterrissage est plus important.

## **II.10. Analyse des facteurs de 3e ordre :**

Les facteurs de 3e ordre sont définis comme des facteurs ayant un impact sur les facteurs de 2e ordre.

- Le contexte économique local a une influence sur:
  - la nature de l'offre de transport des compagnies aériennes. Les caractéristiques de l'activité économique locale influencent la nature même du trafic. Ainsi, la forte présence d'entreprises va induire un trafic affaire important. Des liaisons seront nécessaires vers les grands hubs. La création d'un hub ou de lignes directes seront aussi envisageables. Une forte activité

touristique induira un trafic touristique. La présence de charters fréquentant l'aéroport sera renforcée. Les avions utilisés et l'organisation des vols en seront influencés,

- La stratégie de l'aéroport se situera en fonction du trafic induit

- La stratégie des autres aéroports :

Pour un aéroport considéré, la stratégie des autres aéroports va avoir un impact indirect sur son activité. Par exemple, si un aéroport voisin développe une stratégie de hub (par sa politique tarifaire, ses accords avec une compagnie...), il ne pourra plus développer son réseau en hub. Par ailleurs, la stratégie de l'ensemble des autres aéroports a un impact sur la nature de l'offre des compagnies aériennes en général, et donc sur l'aéroport en question.

- La stratégie des compagnies aériennes :

Une compagnie aérienne va cibler ses marchés (nature des passagers et des destinations). Pour y répondre, elle choisit au mieux les avions en fonction de critères économiques (coûts d'acquisition et de fonctionnement) et son produit (fréquence, service à bord et au sol...) afin de satisfaire la clientèle. Cette stratégie se traduit en une nature de l'offre spécifique. Pour un aéroport donné, la stratégie de l'ensemble des compagnies aériennes qui le fréquentent va déterminer sa nature propre de l'offre de transport qui combine celles des compagnies aériennes.

La stratégie des compagnies aériennes a un impact direct sur la stratégie de l'aéroport puisque la vocation de ce dernier est d'accueillir le service des compagnies. Les stratégies des deux entités sont liées.

L'impact sur les facteurs humains concerne essentiellement le comportement des pilotes qui peuvent recevoir des recommandations concernant le confort des passagers liés au freinage à l'atterrissage.

## **II.11. L'analyse des facteurs de 4e ordre:**

- Contexte économique :

Le contexte économique local reflète en général le contexte économique national voir international. Les contextes économiques national et international ont un impact sur le volume des échanges de passagers et de fret. L'ensemble des aéroports se trouve touché directement par les stratégies des compagnies et donc du contexte économique.

- Le contexte réglementaire :

La stratégie des compagnies aériennes met en scène des pratiques qui s'inscrivent dans le cadre édicté par la réglementation. Chaque grande région du monde a développé des réglementations qui complètent les règles de la convention de Chicago de 1944.

L'évolution du cadre réglementaire a entraîné des modifications du secteur du transport aérien au niveau des compagnies aériennes et des aéroports.

Les compagnies aériennes se sont adaptées en modifiant leur stratégie. Elles se concentrent avec des partenaires organisant leur réseau autour de hubs principaux et secondaires. Ou bien elles s'orientent vers une offre de point à point à prix et service réduits (compagnies low cost). Les aéroports deviennent partenaires de ces changements en accueillant une structure de réseau en hub, ou en devenant un aéroport d'alimentation d'un hub, ou bien en recevant une des lignes d'une compagnie bas coûts. Un aéroport peut connaître à différents degrés une ou plusieurs de ces trois situations.

Le développement suivant l'un de ces axes pour un aéroport peut alors engendrer une activité pour la région concernée favorisant le développement économique local.

- La technologie :

La stratégie des compagnies aériennes se développe avec les moyens mis à sa disposition. La technologie a fait évoluer les moteurs et la taille des avions offrant ainsi aux compagnies aériennes la possibilité de développer de nouveaux services et de nouvelles stratégies. Elle a aussi permis d'améliorer le contrôle des avions et le traitement des passagers.

Les aéroports peuvent alors répondre à un plus grand nombre de services et s'adapter aux stratégies des compagnies aériennes.

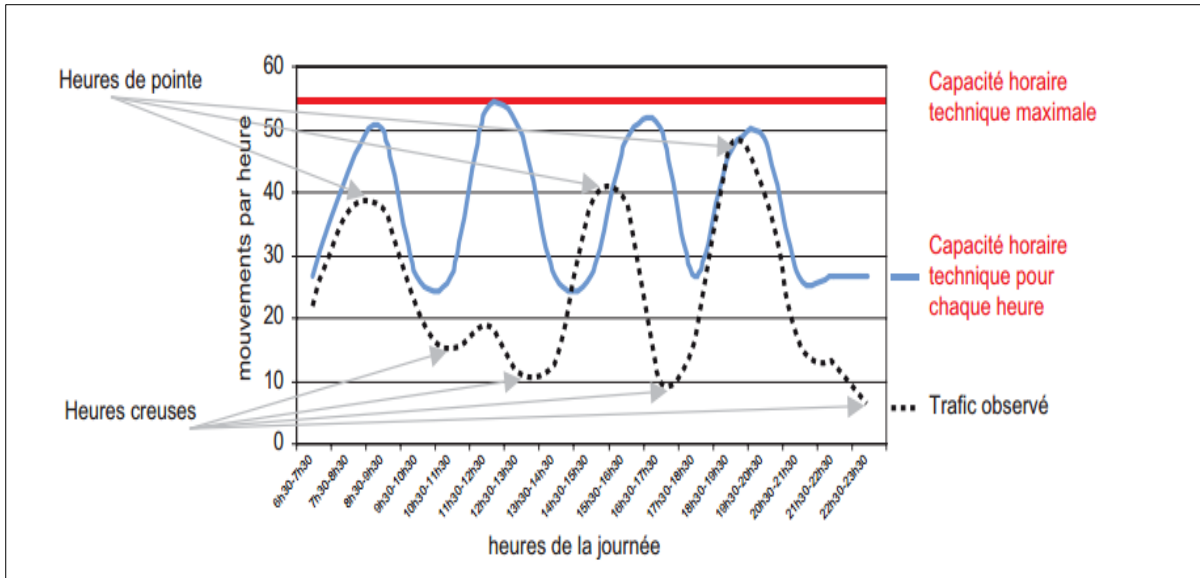
## **II.12. Facteurs qui influent sur la capacité annuelle en mouvements :**

La capacité annuelle est calculée à partir de la capacité journalière qui est la somme de l'ensemble des mouvements qui peuvent être traités par le système de piste sur la journée.

Or le nombre de mouvements varie en général à chaque heure car il dépend de la structure de la demande (mélange en arrivées et départs, mélange en catégories d'avions).

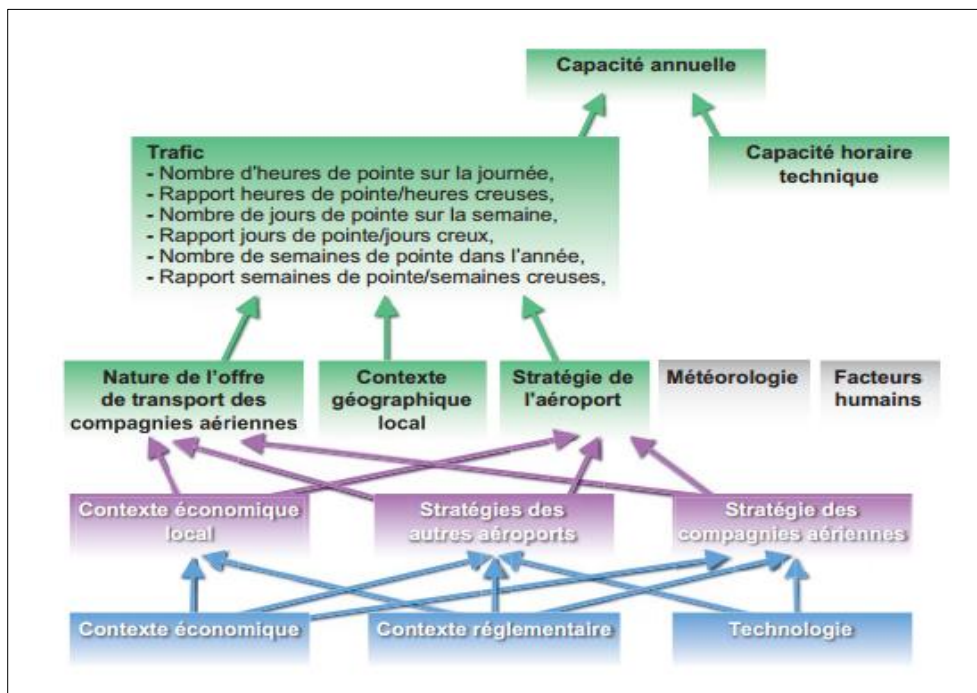
Certaines heures sont des heures de pointe, et d'autres des heures creuses. Les nombres d'heures de pointe et d'heures creuses, ainsi que le rapport entre elles déterminent la structure du trafic.

Le schéma suivant présente une répartition du nombre de mouvements par heure sur une journée entière.



**Figure II-10 :** Répartition du nombre de mouvements par heure sur une journée entière

- L'organigramme suivant représente l'influence des facteurs de 2<sup>e</sup> à 4<sup>e</sup> ordre sur la capacité annuelle :



**Figure II-11 :** l'influence des facteurs de 2<sup>ème</sup> au 4<sup>ème</sup> ordre sur la capacité annuelle

## **II.13. Méthodes d'évaluation rapide de la capacité :**

L'évaluation de la capacité nécessite d'utiliser des « outils », logiciels ou méthodes, qui décrivent la réalité en prenant en compte un ensemble des facteurs identifiables dans la réalité. Plus le nombre de facteurs est grand, et plus l'analyse est précise. L'outil utilisé nécessite en revanche une technicité plus importante et un temps de mise en œuvre plus grand. Un compromis entre la précision de l'outil, le temps de mise en œuvre et le nombre de facteurs pris en compte doit être trouvé et choisi.

### **❖ 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  $C_H$  (nombre maximum moyen d'avions par heure qui peuvent être servis par la piste) y est donnée par la formule empirique:

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

Où  $P$  est la proportion d'atterrissages sur les décollages ;

$t_{AA}$  (respectivement  $t_{AD}$ ,  $t_{DA}$  et  $t_{DD}$ ) est le temps moyen d'occupation de la piste pour une opération atterrissage-atterrissage, (respectivement atterrissage-décollage, décollage-atterrissage et décollage-décollage).

### **❖ Le Modèle ASAC de l'évaluation de la capacité de piste de la NASA :**

La NASA, dans le cadre de l'étude ASAC, a développé un modèle pour l'évaluation de la capacité associée aux pistes d'un aéroport. 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.

Ce modèle de capacité ne peut avoir qu'un caractère indicatif ; il sera difficile de l'utiliser pour évaluer l'influence de tel ou tel paramètre ou de telle ou telle modification d'une procédure opérationnelle sur la capacité du système de pistes. On peut ainsi considérer qu'avec ce modèle, on atteint la limite de ce que la théorie peut apporter pour évaluer la capacité d'un système de pistes.

❖ **Méthode analytique proposé par le docteur Antonio A. Trani :**

Le principe de cette méthode est de partir du temps minimum qui sépare le traitement de deux avions consécutifs par le système de piste. La capacité cherchée sera alors l'inverse de ce temps minimal. Elle s'appuie à la fois, sur les performances des avions en approche et au départ, sur les séparations réglementaires et sur les catégories de turbulence de sillage. Ces données seront déterminées en tenant compte de la composition de trafic.

Cette méthode suppose deux hypothèses :

- La configuration ouverte (Opening case) : la vitesse d'approche  $V_i$  de l'aéronef  $i$  de tête est supérieure à celle de l'aéronef  $j$  (vitesse  $V_j$ ) qui le suit en approche,  $V_i > V_j$ . Le temps

minimal qui sépare deux arrivées consécutives est :  $T_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + \gamma \left( \frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right)$

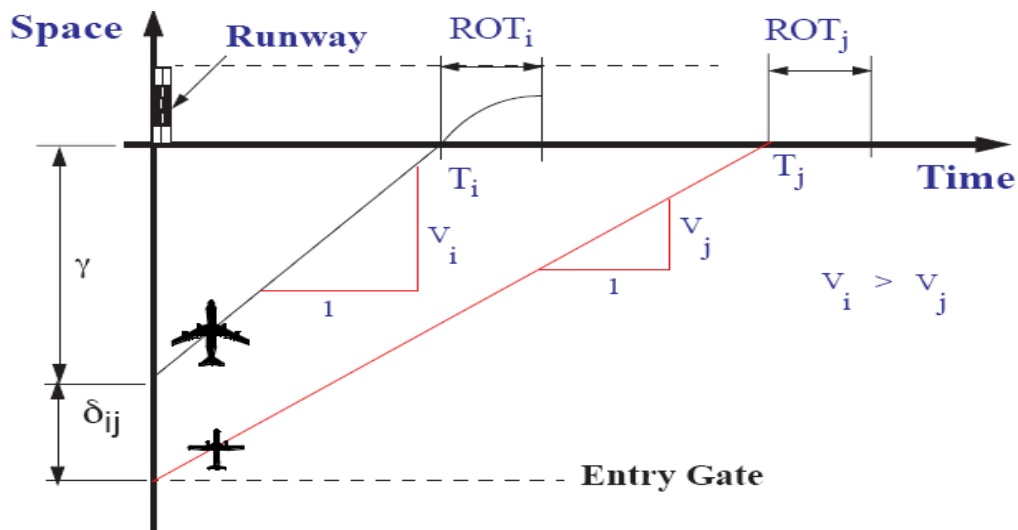


Figure II-12: Configuration ouverte.

- La configuration fermée (Closing case) : la vitesse d'approche  $V_i$  de l'aéronef  $i$  de tête est inférieure à celle de l'aéronef  $j$  (vitesse  $V_j$ ) qui le suit en approche,  $V_i < V_j$ . Le temps minimal qui sépare deux arrivées consécutives est :  $T_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{V_j}$

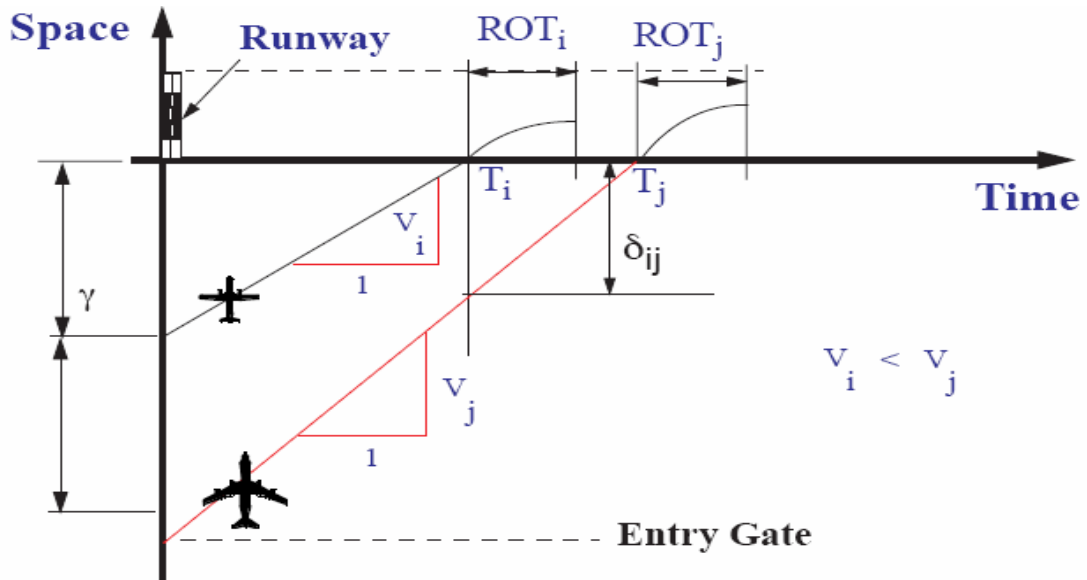


Figure II-13: Configuration fermée.

Finalement un temps minimal moyen de séparation entre deux arrivées consécutives est calculé en tenant compte de la probabilité d'occurrence des deux configurations ci-dessus. Pour la piste destinée à l'arrivée uniquement, la capacité sera donnée par :

$$C = \frac{1}{T_{ij}}$$

Dans le cas d'une piste destinée à l'atterrissage et au décollage, la méthode consiste à voir combien de départs il est possible d'insérer entre les arrivées ; soit  $n$  ce nombre. On aura :

$$C = \frac{1 + n}{T_{ij}}$$

Deux principaux types d'outils existent pour évaluer la capacité horaire: les outils algorithmiques ou analytiques, et les outils de simulation en temps accéléré.

- **Estimation de la capacité théorique :**

Le STBA dispose d'un logiciel d'évaluation de la capacité horaire théorique d'une piste et d'un doublet de pistes parallèles ou sécantes, actuellement appelé MACAO. Ce logiciel



nécessite en entrée des données descriptives du système de piste(s) et de son fonctionnement et correspond aux:

- données de trafic: proportion de 4 catégories d'avions par rapport au volume total de trafic,
- données « réglementaires » de circulation aérienne: espacements minimaux dus à la turbulence de sillage, longueur de la trajectoire d'approche finale, espacement minimal radar, 'verrou' de piste, limite d'autorisation d'atterrir,
- données relatives à l'utilisation des pistes par les 4 catégories d'avions: vitesses d'approche, temps d'occupation de piste à l'arrivée et au départ, temps de stabilisation à l'arrivée, temps de traversée de piste, nombre de points de traversée de piste, temps d'occupation partielle de piste à l'arrivée pour les systèmes de pistes parallèles dépendantes.

L'ensemble de ces données permettent d'estimer l'intervalle de temps (aussi appelé cadences élémentaires) entre chaque avion de chaque catégorie pour les séquences élémentaires suivantes:

- AA: un atterrissage est suivi d'un atterrissage,
  - DD: un décollage est suivi d'un décollage,
  - AD: un atterrissage est suivi d'un décollage,
  - DA: un décollage est suivi d'un atterrissage. Ces cadences élémentaires sont évaluées entre chaque catégorie d'avions. Les quatre catégories d'avions sont définies par l'utilisateur.
- À titre d'exemple, dans certaines études les catégories retenues étaient:

- catégorie 1: avions dont la masse est inférieure à 7 tonnes,
- catégorie 2: avions dont la masse est comprise entre 7 et 40 tonnes,
- catégorie 3: avions dont la masse est comprise entre 40 et 136 tonnes,
- catégorie 4: avions dont la masse est supérieure à 136 tonnes.

Les intervalles de temps entre les avions de chaque catégorie pour chaque séquence élémentaire permettent de déduire le flux d'avion sur une heure.

Ainsi, les répartitions des quatre catégories d'avion permettent d'obtenir les trois capacités techniques théoriques particulières:

- CTA: capacité technique théorique pour des séquences AA,

- CTD: capacité technique théorique pour des séquences DD,
- CTA+D: capacité technique théorique pour des séquences AD + DA (lorsque l'enchaînement des avions alterne atterrissage et décollage).

À partir de ces capacités techniques théoriques, sont ensuite déduites les capacités opérationnelles pour les mêmes séquences.

### **Conclusion :**

Ce chapitre nous a indiqué que la capacité est influencée par plusieurs paramètres dont certains sont maîtrisables par l'autorité aéroportuaire tandis que les autres s'imposent à elle. Il est impératif d'identifier clairement ces facteurs maîtrisables et d'appliquer la stratégie adéquate. Les paramètres principaux ayant un impact sur la capacité piste ont été décrits pour différents systèmes de pistes. Nous pouvons d'ores et déjà dire que les systèmes les plus capacitifs aux moins capacitifs, et corrélativement des plus sûrs au moins sûrs, se classent comme suit :

- pistes parallèles banalisées indépendantes avec aérogares et autres installations au centre,
- pistes parallèles spécialisées avec aérogares au centre,
- doublet de pistes,
- pistes convergentes,
- pistes sécantes,
- piste unique.

Il faut donc éviter, lorsque cela est possible, les installations qui induisent des traversées de piste.

Les cas général de la réglementation de la circulation aérienne a été décrit. Elle impose les règles d'exploitation en fonction des caractéristiques physiques de l'infrastructure et du trafic.

La capacité horaire technique dépend de l'infrastructure, du trafic et des procédures et notamment de l'organisation de l'espace aérien terminal des équipements et des facteurs humains. Pour améliorer la capacité des systèmes de pistes, ce dernier doit être bien organisé afin de séparer les flux d'arrivées et de départs.

Il est possible d'optimiser les systèmes de pistes en appliquant des règles d'espacement réduit et la clairance anticipée à l'atterrissage.

Concernant les pilotes des mesures sont possible à prendre comme améliorer l'écoulement du trafic à l'arrivée et essayer de diminuer les temps de réaction au départ, concernant le contrôle, elles portent notamment sur l'application des espacements réduits. Pour l'aéroport, les principales mesures concernent l'amélioration de l'infrastructure (sorties rapides, taxiway parallèle, deux points d'entrée sur piste...)

Afin de faciliter les mesures qui portent sur les pilotes et le contrôle. Ces mesures nécessitent un travail en collaboration pour :

- mesurer les temps d'occupation de piste et les temps de réaction des pilotes,
- analyser les meilleures pratiques.

La capacité aéroportuaire est une vieille notion. Cependant, il n'existe pas encore une méthode standard pour l'évaluer. Les autorités aéroportuaires utilisent le plus souvent de procédés empiriques. Il existe dans certains cas des outils élaborés, mais malheureusement, propriétaires.

# **Chapitre III :**

**Présentation De L'aéroport d'Alger**

**HOUARI BOUMEDIENE**

## **Introduction :**

Dans ce chapitre nous ferons une représentation de l'aéroport d'Alger/Houari Boumediene ainsi que ses différentes infrastructures. Nous présenterons le trafic aérien de l'aérodrome ainsi que toutes les implantations des aides à la navigation, le balisage. Dans l'objectif d'accumuler une banque de données qui nous servira pour l'étude de la capacité du système piste de l'aéroport.

### **III.1. Présentation de l'aéroport :**

L'aéroport d'Alger/Houari Boumediene est un aéroport civil international créé en 1924, situé sur la commune de Dar El Beida à 16 km à l'est d'Alger, il est composé de deux aéro-gares : une internationale et l'autre nationale. L'aéroport est géré par la Société de gestion des services et infrastructures aéroportuaires (SGSIA), filiale de l'EGSA Alger.

Quant à l'aérodrome, il dispose deux pistes. Il est le plus important de tous les aéroports algériens vu que sa capacité actuelle est d'environ 12 millions de passagers par an.



**Figure III-1 : L'aéroport d'Alger/Houari Boumediene**

Des coordonnées générales de l'aéroport d'Alger (aéroport Houari Boumediene) sont représentées comme suit :

- Nom de l'aérodrome : ALGER / Houari Boumediene
- Code IATA : ALG

- Code OACI : DAAG
- Pays : Algérie
- Ville desservie : Alger
- Type d'aéroport : civil
- Gestionnaire : EGSA
- Altitude : 25m
- Température : 30,6°C
- Latitude : 36°41 N
- Longitude : 03°12 E
- Types de trafic autorisés : IFR/VFR
- Coordonnées du point de référence et emplacement de l'aérodrome : 364140N 0031301<sup>E</sup>, Intersection des TWY : B4, B5, A4 et A5.
- Catégorie de l'aérodrome pour la lutte contre l'incendie : CAT 9.

**Obstacles d'aérodrome :**

Aire d'approche et de décollage				
PISTE ou Aire concernée	Type d'obstacles Hauteur Marquage et balisage lumineux			Coordonnées
	Type d'obstacle	Hauteur	Marquage et balisage lumineux	
a	b			c
RWY 09	Château d'eau	31.84 M ALT:60.64 M	Balisé jour et nuit	QDR 87.15° et à 2746M du THR 27
RWY 09	Bâtiment	18 M ALT: 28 M	Non balisé	364135.8N 0030932.5E
RWY 23	Antenne LLZ	1.10 M ALT: 26.10 M	Balisé jour et nuit	364131.96N 0031303.06E

**Tableau III -1 :** Les obstacles d'aérodrome d'Alger (AIP Algérie 14 Jan 10)

Aires de manœuvres à vue et aérodrome			
Type d'obstacles Hauteur Marquage et balisage lumineux			Coordonnées
Type d'obstacle	Hauteur	Marque et balisage lumineux	
a			b
TWR	45 M	Balisée jour et nuit	364200N 0031255E
Antenne ILS GP	13.65 M ALT : 38.65 M	Balisée jour et nuit	364127.4N 0031027.4E
Antenne radar SMR	25 M ALT : 52 M	Balisée jour et nuit	364119.1N 0031304E
Antenne radar PSR/SSR	ALT : 49 M	Balisée jour et nuit	364037N 0031050E

**Tableau III-2 : Les obstacles d'aérodrome d'Alger (AIP Algérie 14 Jan 2010)**

### **III.2. Les parties principales de l'aéroport :**

L'aéroport d'Alger se constitue en général de quatre parties principales:

❖ **L'aérogare :**

✓ **Aérogare des passagers.**

- Aérogare domestique (nationale).
- Aérogare internationale.

✓ **Aérogare de fret.**

❖ **L'aérodrome :**

✓ **Aire de mouvement.**

- Aire de trafic.
- Aire de manœuvre.

❖ **Les infrastructures de la navigation aérienne :**

- La tour de contrôle : fréquences 118.7Mhz et 119.7Mhz(s).
- Le contrôle d'approche : fréquences 121.4Mhz et 120.8Mhz (s).

- Le bureau de piste, notamment pour la réception des plans de vol, et le bureau d'information aéronautique, ces deux bureaux étant à la disposition des équipages et des agents d'exploitation des compagnies aériennes.
- ❖ **Les infrastructures de sécurité :**
  - Le service de lutte contre les incendies de catégorie 9.
  - Le service de lutte contre le risque aviaire.
  - Le service de maintenance des pistes.
  - Le service de sécurité (police, douane, ...)
- ❖ **L'aéroport dispose en outre :**
  - d'une aire d'atterrissage d'hélicoptères ;
  - d'un pavillon d'honneur, permettant la réception de chefs d'État et autres responsables politiques de tous pays lors de leurs déplacements aéroportés ;
  - d'une zone de fret ;
  - d'une zone et de hangars pour la maintenance des avions ;
  - d'une zone d'activités aéroportuaires telle que des bureaux de la compagnie aérienne nationale Air Algérie et Tassili Airlines.

### **III.3. Capacité de l'aéroport d'Alger :**

Sa capacité est de 12 millions par an, et il est le troisième aéroport africain de par sa capacité derrière celui de JOHANNESBURG (18millions), LE CAIRE (16millions).

En 2013 L'aéroport d'Alger a enregistré un total de 5,93 millions de passagers (départ-arrivée) contre 5,42 millions en 2012, soit une hausse de 9,5%, précise un bilan de la Société de gestion des services et infrastructures aéroportuaires d'Alger (SGSIA).

De ce fait, 4,22 millions de passagers ont été transportés en 2013 sur le réseau international contre 3,82 millions en 2012 soit une évolution de 10,55%.

Alors que, le trafic domestique n'a évolué que de 7,04 %, passant de 1,57 million de passagers en 2012 à 1,69 million en 2013 a précisé le bilan de la SGSIA.



Pour ce qui est des mouvements d'avions, la même source note que 72.676 mouvements ont été enregistrés en 2013 contre 66.423 en 2012 soit une évolution de 9,41 % sur un an.

Suite à cette évolution des passagers et du trafic, l'aéroport d'Alger devient de plus en plus restreint pour contenir tous ce flux, de voyageurs, d'où le projet de son renforcement par une nouvelle aérogare internationale prévus en 2018 qui portera sa capacité globale à 10 millions de passagers/an.



Figure III-2 : Maquette de l'aéroport d'Alger avec la future aérogare

### III.3.1. Trafic aérodrome d'Alger:

Concernant le trafic, il n'est pas assez important comparant à d'autre pays dans la vocation touristique domine (Marrakech, Tunis, Sharam el Cheikh...)

#### ➤ **Trafic passagers (2005-2015) :**

<b>Alger : Année</b>	<b>Trafic National Passagers</b>	<b>Trafic International Passagers</b>	<b>Total Traffic Passagers</b>
<b>2 005</b>	1 321 340	2 082 113	3 403 453
<b>2 006</b>	1 329 635	2 160 024	3 489 659
<b>2 007</b>	1 386 708	2 427 847	3 814 555
<b>2 008</b>	1 543 101	2 616 257	4 159 358
<b>2 009</b>	1 639 849	2 907 859	4 547 708
<b>2 010</b>	1 423 783	3 017 143	4 440 926
<b>2 011</b>	1 440 798	3 352 374	4 793 172
<b>2 012</b>	1 579 164	3 825 807	5 404 971
<b>2 013</b>	1 702 490	4 232 658	5 919 685
<b>2 014</b>	1 742 058	4 733 039	6 475 097

Tableau III-3: Trafic passagers de l'aérodrome d'Alger 2005-2014

➤ **Trafic aéroport d'Alger 2005-2020 :**

Ce tableau va nous présenter le trafic aéroport d'Alger depuis l'année 2005-2015 avec une prévision pour les 5 prochaines années :

<b>Année</b>	<b>Total trafic départ/arrivé</b>
2005	51 886
2006	50 007
2007	51 154
2008	56 242
2009	64 322
2010	62 005
2011	65 587
2012	69 341
2013	80 124
2014	83 113
2015	87 108
2016	88 603
2017	92 448
2018	96 292
2019	100 137
2020	103 981

Tableau III-4 : trafic aéroport Alger 2005-2020

➤ **La Répartition mensuelle des départs et des arrivées de l'aéroport d'Alger année 2015 :**

<b>Mois</b>	<b>Départs</b>	<b>Arrivées</b>
Janvier	3 197	3 225
Février	2 877	2 875
Mars	3 191	3 212
Avril	3 189	3 190
Mai	3 220	3 216
Juin	3 179	3 192
Juillet	3 484	3 512
Août	3 697	3 720
Septembre	3 395	3 415
Octobre	3 315	3 358
Novembre	3 171	3 195
Décembre	3 417	3 454
<b>Total général</b>	<b>39 332</b>	<b>39 564</b>

Tableau III-5 : les statistiques mensuelles départs et des arrivées aéroport Alger année 2015

### III.4. Les aérogares :

Dans l'aéroport d'Alger il y a trois terminaux qui accueillent les passagers de l'aéroport :

1. Le terminal 1 : inauguré en 2006, dédié aux vols internationaux.
2. Le terminal 2 : ancien terminal international, rénové, dédié aux vols nationaux.
3. Le terminal 3 : ancien terminal national, dédié aux vols charters.

#### ✓ L'aérogare internationale :

Inaugurée le 5 juillet 2006, le nouveau terminal (terminal 1) de l'aéroport Houari Boumediene, d'une capacité de 6 millions de passagers, a remplacé l'ancien terminal international, construit dans les années 1950.

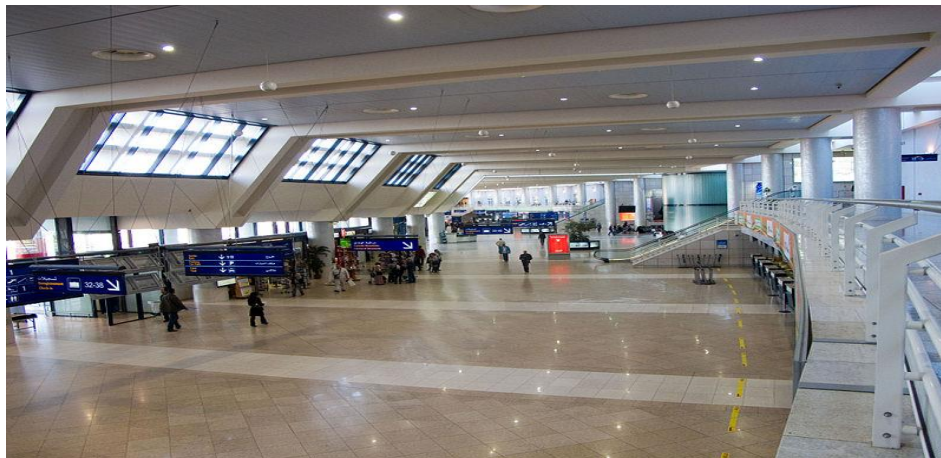


Figure III-3 : L'aérogare internationale d'Alger

#### ✓ L'aérogare nationale :

Inauguré le 3 novembre 2007, le nouveau terminal 2 de l'aéroport, l'ancien terminal international, assure les liaisons internes. Sa capacité de trafic est de 2,5 millions de passagers par an.

Le terminal 2 a fait l'objet d'une rénovation qui a porté sur le réaménagement des espaces, la création de nouvelles boutiques, de bureaux et d'un nouveau grand hall d'embarquement.

#### ✓ L'aérogare vols pèlerinage et charters :

Le terminal 3 est conçu pour les activités pèlerinage et charters. Sa capacité est de 1 million de passagers par an.

#### III.4.1. type de l'aérogare :

Selon la structure et le niveau de trafic à écouler, il existe plusieurs types d'aérogares.

L'aérogare internationale de l'aéroport d'Alger est d'une forme linéaire convexe qui a comme avantage :

-Sa convexité vers les aires de trafic permettant de développer les installations sur un linéaire maximum côté piste et de réduire la surface de circulation côté ville.

- Eviter la concentration et le rapprochement des avions lors du chargement ou le déchargement

L'aérogare d'Alger se présente sous la forme suivante :



Figure III-4 : Le type de l'aérogare d'Alger

### III.4.2. Contact avions :

Globalement, le rôle de l'aérogare est de transformer les passagers et les bagages en « lots » embarqués dans des avions, et vice-versa. Le processus d'allotissement des passagers a lieu concrètement au moment de l'embarquement ou du débarquement, qui peuvent être réalisés par plusieurs moyens.

Dans le cas de l'aéroport d'Alger, le contact avion vers l'international se fait par des passerelles tandis que pour des vols domestiques les passagers sont transportés à l'aide des bus.

### III.5. L'aérodrome d'Alger :

#### III.5.1. L'aire de manœuvre :

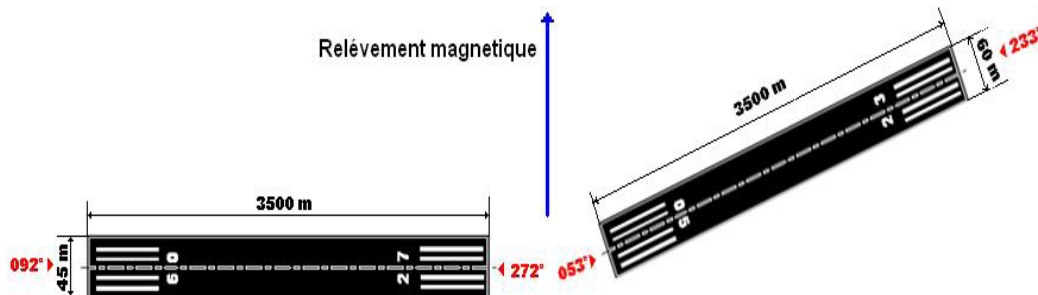
##### a) Les pistes :

L'aéroport dispose de deux pistes d'une longueur de 3 500 m; la première en béton bitumineux, la deuxième en asphalte. Utilisation simultanée des deux pistes en fonctions des vents soit QFU 09 LDG et QFU 05 TKOF soit le QFU 23 LDG et le QFU 27 TKOF.

Les caractéristiques physiques des deux pistes sont représentées dans le tableau suivant :

Numéro de piste	Relèvements		Dimension des RWY (m)	Résistance (PCN) et revêtement des RWY et SWY	Coordonnées du seuil	Altitude du seuil et altitude du point le plus élevé de la TDZ de la piste de précision	
	VRAI	MAG				THR (m)	TDZ (m)
05	053°	053°	3500 x 60	75 F/D/W/T Béton bitumineux	364136.43N 0031310.22E	22	
23	233°	233°			364247.75N 0031507.09E	25	
09	092°	092°	3500 x 45	78 F/D/W/T Asphalte	364131.42N 0031014.88E	17	
27	272°	272°			364127.99N 0031239.02E	20	

**Tableau III-6 : les caractéristiques physiques des pistes**



**Figure III-5 : Les deux pistes de l'aérodrome d'Alger**

Les pistes se présentent comme suit :

❖ **Une piste avec approche de précision (piste 09), catégorie II :**

C'est une piste desservie par un ILS et destinée à l'approche avec une hauteur de décision inférieure à 60m (200ft) mais aussi au moins égale à 30m (100ft), et une portée visuelle de piste au moins égale à 350m .

❖ **Une piste avec approche de précision (piste 23) catégorie III :**

C'est une piste aux instruments desservie par un ILS, jusqu'à la surface de la piste et le long de cette surface, et destinée à être utilisée sans hauteur de décision ni limites de portée visuelle de piste. En générale c'est la piste principale et la plus fréquente.

Le seuil de cette piste est défini comme étant le début de la partie de la piste utilisable pour l'atterrissage. Il convient de prévoir une distance supplémentaire correspondante à l'aire de sécurité d'extrémité de piste selon les besoins, qui sont :

- **Prolongement d'arrêt (SWY) :**

C'est une partie de terrain coaxial à la piste, adjacente à l'une de ses extrémités, de même largeur que celle-ci, pour l'aéroport d'Alger les distances d'accélération-arrêt sont toutes nulles sauf celle de la piste numéro 27 est déclarée de 310 m.

- **Prolongement dégagé (CWY) :**

Dans le cas de l'aérodrome d'Alger les prolongements dégagés sont tous nuls. (Voir le tableau)

Désignation de la piste	TORA (m)	TODA (m)	ASDA (m)	LDA (m)
05	3500	3500	3500	3500
23	3500	3500	3500	3500
09	3500	3500	3500	3500
27	3500	3500	3810	3500

**Tableau III-7 :** Les distances déclarées des pistes de l'aéroport d'Alger

L'avion critique de l'aéroport Houari Boumediene est le B747/400.

D'après les définitions suivantes :

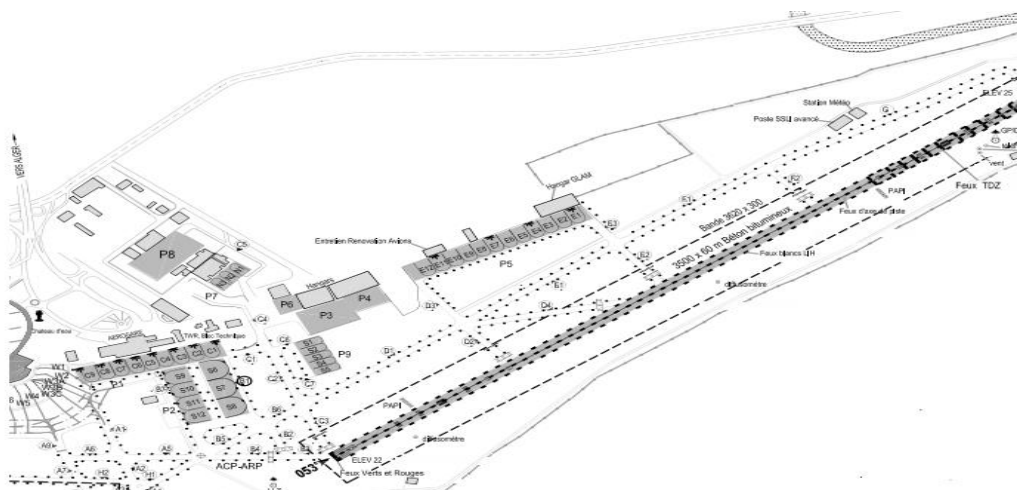
**Piste classique :** c'est une piste dépourvue de tout prolongement TORA=TODA=ASDA

**Piste non classique :** c'est une piste dotée d'un ou plusieurs prolongements

**Donc :** La piste 05/23 est une piste classique, et la 27/09 c'est une piste non classique.

### b) Voie de circulation :

Les voies de circulation dans l'aéroport d'Alger sont d'une largeur de 25m.



**Figure III-6 :** Piste 05/23 et ses voies de circulation



### III.5.2. L'aire de trafic :

l'aire de trafic de l'aerodrome Houari Boumediene se compose :

#### a) les voies de circulation de l'air de trafic qui contient :

- Les voies de desserte
- Voie de service
- Point d'attente sur voie de service

#### b) Les aire de trafic d'aérogare passagers et de stationnement :

Sur l'aérodrome d'Alger on trouve six parkings désignées sur l'aire de trafic destiné à être utilisé pour le stationnement où les passagers effectuent leur embarquement/débarquement :

Parking 1: 09 postes

Parking 2 gros porteur : 03 postes

Parking 2 moyen porteur : 04 poste

Parking 5:12 poste

Parking 10: 14 poste

Parking 11: 1 poste

- L'aire d'entretien
- L'aire de garage.

### III.6. Les installations d'aide à la navigation :

➤ Le balisage :

1	Panneaux d'identification des postes de stationnement d'aéronef	Oui
	Lignes de guidage TWY	Oui
	Système de guidage visuel aux postes de stationnement des aéronefs.	Oui
2	Balisage des RWY et TWY	RWY 05/23, RWY 09/27 et TWY : Feux d'identification des seuils – Feux d'extrémité des RWY – Feux de bord des TWY. RWY 05/23 et TWY : Feux des seuils – Feux de bord RWY – Feux d'axe RWY – Feux TDZ – Feux d'axe des TWY – Feux d'intersection des TWY. RWY 09/27 et TWY : Feux de SWY – Feux de raquette.
	Marquage des RWY et TWY	RWY 05/23, RWY 09/27 et TWY : Marques des seuils – Marques Numéro d'identification des RWY- Marques axiales des RWY – Marques de bord des RWY – Marques de TDZ – Marques axiales des

		TWY – Marques de point cible.
3	Barres d'arrêt	Disponible sur TWY reliant la RWY 05/23.
4	Observations	Néant.

**Tableau III-8 :** Le système de guidage et de contrôle des mouvements à la surface et balisage

➤ Les instruments de radionavigation :

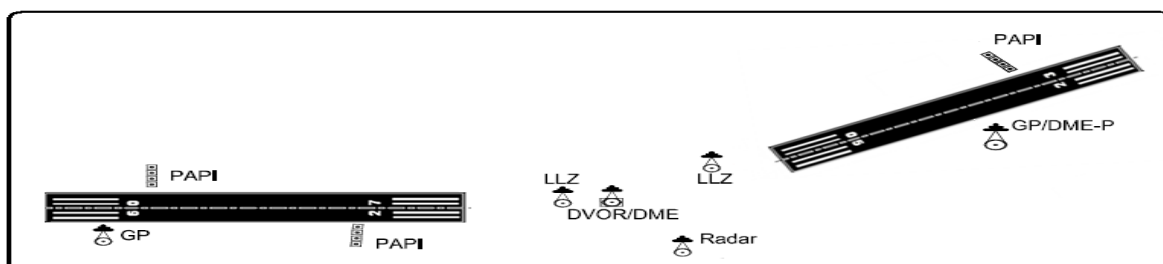


Figure III-7: Les instruments de radionavigation des deux pistes de l'aérodrome d'Alger

Type d'aide	Identification	Fréquence
DVOR/DME	ALR	112.5 MHZ
DVOR/DME	ZEM	116.6 MHZ
DVOR	SDM	113.9 MHZ
NDB	SMR	370 KHZ
NDB	MAR	416 KHZ
NDB	ZEM	359 KHZ
LLZ 23 / ILS CAT III	AG	110.3 MHZ
LLZ 09 / ILS CAT III	HB	108.5 MHZ
GP 23		335 MHZ
DME-P	AG	335 MHZ
LLZ / ILS CAT II	HB	CH40X
GP 09		108.5 MHZ
OM 23	2 Trait/Sec	329.9 MHZ
OM 09	2 Trait/Sec	75 MHZ
MM 23	1 Point/1Trait sec	75 MHZ
L	OA	342 KHZ

**Tableau III-9 :** Les instruments de radionavigation de l'aérodrome d'Alger

➤ Les instruments de météorologie.



### **III.6.1 Utilisation du Radar et de l'ILS :**

#### **a / Radar :**

Le contrôle radar d'approche a en charge les aéronefs à l'intérieur d'un espace aérien d'environ 60 NM à partir du VOR/DME de l'aérodrome d'Alger.

Le rôle du contrôleur d'approche est de traiter :

- le séquençage (sequencing) qui consiste à déterminer l'ordre dans lequel se succèdent les aéronefs autorisés à effectuer leur approche pour atterrir.
- Le mesurage (metering) qui est la méthode de régulation en temps du flux de trafic à l'arrivée en TMA (zone terminale).

Le contrôleur utilise des techniques pour assurer une séparation normalisée telles que :

- le contrôle des vitesses (speed control) des aéronefs.
- le guidage radar (radar vectoring) qui permet l'utilisation de segments de trajectoire afin d'assurer l'espacement adéquat par rapport à un aéronef précédent.
- le circuit d'attente (holding pattern) lors des pointes de trafic.

Ces diverses méthodes et techniques sont destinées à guider un aéronef jusqu'à environ une dizaine de NM du seuil de la piste en service, dans l'axe de l'approche finale.

En Algérie, l'espacement radar entre aéronefs est de 7 NM.

Le contrôle d'approche assure également le contrôle radar pour les aéronefs au départ.

Le contrôleur d'approche d'Alger dispose d'importants outils qui sont les Filets de Sauvegarde au Sol (Ground Safety Nets). Ces outils incluent 3 fonctions destinées à détecter les conflits actuels ou prévus entre:

- \* Aéronefs (SCTA: Short Term Conflict Alert): alerte d'un conflit à court terme;
- \* Aéronefs et le sol (MSAW: Minimum Safe Altitude Warning): avertissement d'une altitude minimum de sécurité;
- \* Aéronefs et espaces aériens interdits (APW: Airspace Prohibited Warning) : avertissement d'un espace aérien interdit.

Ces outils, destinés au contrôleur, ont été conçus pour prévoir, détecter et éviter les situations potentielles de conflit et déclencher une alarme (alerte visuelle et audible) en cas de conflit actuel ou potentiel.

#### **b) ILS (Système d'Atterrissage aux Instruments) :**

L'ILS est un système essentiel dans le cadre de RECAT, grâce à ses éléments en trois dimensions (localizer : latéralement ; glidepath : verticalement ; DME : longitudinalement). Il supporte avec précision les approches finales de 6 à 10 NM le long du prolongement de l'axe de piste jusqu'à l'atterrissage.

# **Chapitre IV :**

## **Etude et calcul**

### **De la capacité système pistes**

#### **Aérodrome d'Alger**

## **Introduction :**

Afin de vérifier qu'une infrastructure est suffisante, il est nécessaire de comparer sa capacité technique à une demande de trafic caractéristique des plus fortes contraintes de fonctionnement que l'aéroport peut être amené à subir. Dans ce quatrième chapitre nous allons étudier la capacité des systèmes pistes de l'aérodrome d'Alger Houari Boumediene nos calcul sont basé sur une méthode d'approche analytique reconnue internationalement utiliser en Europe pour évaluer la capacité de piste. Les données d'entrée permettant de déterminer cette journée ainsi que tous les statistique utilisé nous était fournis par l'ENNA (établissement national de la, aviation aérienne » ainsi que des données utilisée issue de l'AIP Algérie. Cette étude nous permettra aussi d'indiquer le nombre de postes de stationnement requis par catégories d'avion.

### **IV.1. Méthodologie mise en œuvre pour la capacité piste :**

Afin d'évaluer la capacité de piste, nous allons élaborer une méthode inspirée de celle du Dr. Antonio A. Trani une approche par manipulation d'un modèle mathématique ou approche analytique.

La capacité théorique maximale : est définie comme le nombre maximal de mouvements par unité de temps admissible sur une infrastructure donnée, avec une structure de trafic donnée, en appliquant systématiquement les séparations minimales et dans des conditions d'exploitation optimales (notamment les conditions météo). Cette valeur de capacité est un maximum théorique qui ne tient pas compte de paramètres tels que les facteurs humains (précision dans la tenue de vitesses d'approche, durée des délivrances et collationnements d'autorisations du contrôleur aérien, temps de réaction des pilotes et des contrôleurs, etc.) et les marges de sécurité opérationnelles appliquées par le contrôle aérien afin d'assurer le respect des minima réglementaires malgré les aléas.

Le principe du calcul de capacité piste théorique maximale mis en œuvre est le suivant :

- Calcul des séparations minimales à appliquer entre deux mouvements (c'est-à-dire calculer la séparation temporelle minimale entre un départ d'un avion de la catégorie 4 et une arrivée d'un avion de la catégorie 1, la séparation temporelle minimale entre un départ de catégorie 3 et un départ de catégorie 4, entre deux arrivées de catégories 2, etc.). Ces séparations minimales sont calculées à partir des données géométriques du système de piste, des procédures de navigation aérienne et des performances des avions ;

- Calcul des probabilités d'occurrence de chaque couple d'avions successifs (c'est-à-dire calculer la probabilité qu'un départ d'un avion de la catégorie 4 et une arrivée d'un avion de la catégorie 1 se suivent, la probabilité qu'un départ de catégorie 3 et un départ de catégorie 4 se suivent, la probabilité que deux arrivées de catégories 2 se suivent, etc.). Ces probabilités sont calculées à partir de la structure du trafic (la proportion d'avions de chaque catégorie) ;
- Calcul de la séparation minimale moyenne entre deux avions. Il s'agit de la moyenne des valeurs de séparations temporelles calculées lors de la première étape, pondérée par les probabilités calculées à la deuxième étape. La capacité théorique est alors obtenue en mouvements par heure en divisant une heure par la séparation minimale moyenne calculée.

## **IV.2. Analyse de l'existant**

- Trafic actuel correspondant à la journée du 13 décembre 2015. Cette journée détaillée comporte 286 mouvements, répartis entre 147 arrivées et 137 départs.

Ces données de trafic contiennent les horaires de départ et d'arrivée des avions, ainsi que leur type (A320, ATR72, etc.) permettant ainsi la détermination des besoins en postes de stationnement ainsi qu'en infrastructure du système de piste.

- Concernant le minimum de séparation radar (MSR) :

Le MSR (minimum de séparation radar) est la séparation minimale requise par le système de détection radar à appliquer entre deux aéronefs se suivant sur la même trajectoire. C'est une séparation horizontale, à différencier d'une séparation verticale où les aéronefs sont placés à différentes altitudes. Le MSR actuel de l'aéroport d'Alger est de 7NM.

- Concernant l'utilisation des bretelles de sortie de piste Pour le scénario d'infrastructure actuelle, les bretelles sont utilisées, suivant le QFU, pour nos calculs nous avons considéré que pour les 2 pistes 100 % des avions stationnés empruntent bretelle de sortie rapide.
- Concernant l'utilisation des postes de stationnement :

Dans le cas du scénario d'infrastructure actuelle, les postes de stationnement sont utilisés conformément aux informations figurant sur le manuel d'exploitation des postes de stationnement du gestionnaire de l'infrastructure. Lors de l'affectation des postes de stationnement, les avions sont préférentiellement placés au contact du terminal. Les postes de stationnement situés au large sont utilisés lorsque l'offre de stationnement au contact ne suffit plus à accueillir la demande de trafic.

- Concernant la performance des avions Les aéronefs sont classés par catégories de performances et de masse maximale au décollage :

Les catégories sont au nombre de 4, définies de la manière suivante :

- catégorie 1 : avions dont la masse est inférieure à 7 tonnes,
- catégorie 2: avions dont la masse est comprise entre 7 et 40 tonnes,
- catégorie 3: avions dont la masse est comprise entre 40 et 136 tonnes,
- catégorie 4: avions dont la masse est supérieure à 136 tonnes.

- Les départs se font systématiquement du seuil de piste.
- Les avions ne sont considérés qu'à partir de l'approche finale pour les arrivées et jusqu'à la fin de la montée initiale pour les départs.

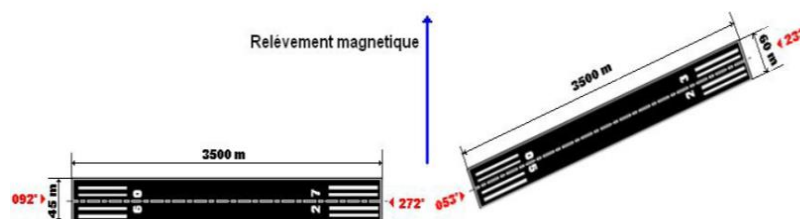
### **Scénarios étudiés :**

- **piste 27/09:**

C'est une piste desservie par un ILS et destinée à l'approche avec une hauteur de décision inférieure à 60m (200ft) mais aussi au moins égale à 30m (100ft), et une portée visuelle de piste au moins égale à 350m .

- **piste 05/23:**

C'est une piste aux instruments desservie par un ILS, jusqu'à la surface de la piste et le long de cette surface, et destinée à être utilisée sans hauteur de décision ni limites de portée visuelle de piste. En générale c'est la piste principale et la plus fréquente.



**Figure IV-1 : Pistes aéroport d'Alger**

- ✓ **Valeur caractéristique des vitesses d'approche :**

Les vitesses moyennes sur la trajectoire d'approche finale à prendre en compte des différents types d'aéronefs. Ces valeurs peuvent être extraites des manuels de vol ou d'exploitation.

On a pour valeurs :

Type avions	Be-20	ATR-72	B-737	B-747
Vitesse d'approche en finale (Kts)	103	105	141	157

**Tableau IV-1** : Type aéronefs et leur vitesse moyenne en final Kts

✓ **Les minima d'espacement entre deux arrivées dus aux turbulences de sillage :**

Avion suiveur Avion de tête	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Type 1 MTOW ≤ 7 t	(*)	(*)	(*)	(*)
Type 2 7 t < MTOW ≤ 40 t	4 Nm	3Nm	3Nm	(*)
Type 3 7 t < MTOW ≤ 136 t	4 Nm	3Nm	3Nm	(*)
Type 4 MTOW > 136 t	6Nm	5Nm	5Nm	4Nm

**Tableau VI-2** : Minima d'espacement entre deux arrivées dus aux turbulences de sillage en Nm

✓ **Minima d'espacement entre deux départs dus aux turbulences de sillage :**

Les minima d'espacement résultant des turbulences de sillage à appliquer entre deux aéronefs au départ sont représenté dans le tableau suivant :

Avion suiveur Avion de tête	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4 B-747
Type 1 MTOW ≤ 7 t	(*)	(*)	(*)	(*)
Type 2 7 t < MTOW ≤ 40 t	120(180s)	120(180s)	120(180s)	(*)
Type 3 7 t < MTOW ≤ 136 t	120(180s)	120(180s)	120(180s)	(*)
Type 4 MTOW > 136 t	120(180s)	120(180s)	120(180s)	120(180s)

**Tableau VI-3** : Minima d'espacement entre deux arrivées dus aux turbulences de sillage en secondes

### IV.3. Temps d'occupation de piste :

#### A- TOP départ :

Une fois l'aéronef franchi l'extrémité de piste en service ou amorce un virage, là on peut donner autorisation à l'avion qui le suis une autorisation de décollage.

Le temps d'occupation peut être calculé par la méthode qui suit :

- Hypothèse :
  - ✓ Accélération constante, vitesse variant de  $V_0$  à la vitesse de décollage sur une distance égale à la distance de décollage.
- 1) survol jusqu'à l'extrémité de piste
- 2) virage après décollage.

On a :

Le temps mis par un aéronef pour passer de la vitesse  $V_1$  à la vitesse  $V_2$  en avec une accélération constante sur une distance  $D$ :

$$\mathbf{T_1 = 4D / (V_1 + V_2)} \quad (\text{IV.1})$$

Le temps mis par un aéronef pour parcourir une distance  $D$  à une vitesse  $V$  :

$$\mathbf{T_2 = 2D / V} \quad (\text{IV.2})$$

Formulation:

✓ Décollage dans l'axe de piste :  $\mathbf{TOP = 4 D_d / V_d + 2 (L - D_d) / V_d}$  (IV.3)

✓ Virage dégagement avant l'extrémité de piste :  $\mathbf{TOP = 4 D_d / V_d + T_{dv}}$  (IV.4)

**Avec :**

**Dd** : distance de décollage en mètre

**Vd** : vitesse de décollage en Kts

**L** : longueur de piste

**Tdv** : temps de dégagement en vol de l'axe de piste.

▪ **Application numérique sur piste aérodrome d'Alger :**

L=3500 m ; Tdv = 30 seconde ; distance de décollage prise par le manuel d'identification des avions.

✓ 1<sup>er</sup> cas Décollage dans l'axe : **TOP= 4 Dd / Vd + 2 (L- Dd) / Vd**

Valeur Type d'avion	Dd (m)	Vd (Kts)	TOP (S)
Be-20	800	100	86
ATR-72	1290	130	74
B-737	2494	160	75
B-747	3018	170	77

**Tableau IV-4 :** TOP décollage dans l'axe

✓ 2<sup>ème</sup> cas virage de dégagement avant extrémité de piste : **TOP= 4 Dd / Vd + Tdv**

Valeur Type d'avion	Dd (m)	Vd (Kts)	Tdv (S)	TOP (S)
Be-20	800	100	30	62
ATR-72	1290	130	30	70
B-737	2494	160	30	92
B-747	3018	170	(*)	(*)
(*) sans objet				

**Tableau IV-5 :** TOP avec virage de dégagement avant extrémité de piste

**B) TOP arrivée :**

Une autorisation d'atterrissage ne peut être délivré à un aéronefs si un aéronef a l'arriver qui le précède na pas dégagé la piste en service, hormis le cas où les espacement peuvent être réduit.

▪ Pour le calcul du TOP on divisera cette partie en quatre phases :

1-survole de la piste a décélération constante du seuil a la zone de toucher de roues.

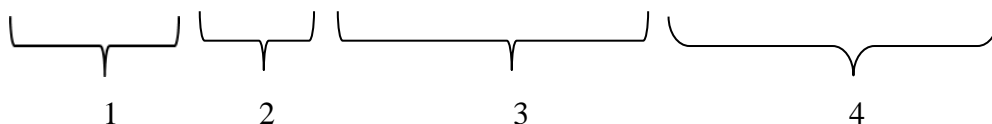
2-roulage a vitesse constante

3-freinage a décélération constante jusqu'à la sortie de piste

4-roulage a vitesse constante de l'axe de piste au point de dégagement.

Formulation:

**TOP=4 Ds/(Vs+Vt)+2Dst/Vt + 4 (db-Dst-Ds)/(Vt+VS)+2dag.sin(axe,brettelle)/VS (IV.5)**





Avec :

**Ds:** distance de vol du seuil jusqu'au point de toucher des roues (mètre)

**Dst:** distance nécessaire à la stabilisation de l'aéronef (mètre)

**db :** distance du seuil a la bretelle de sortie à la quel l'avion est affecté (mètre)

**Dag :** distance perpendiculaire entre l'axe de piste et le point de dégagement (mètre)

**Sin (axe, bretelle):** sinus de l'angle entre l'axe de piste et le point de dégagement

**Vs:** vitesse de passage au seuil d'exploitation (Kts)

**Vt:** vitesse de toucher de roues (Kts)

**VS :** vitesse de sortie (Kts)

**Vr :** vitesse de roulage sur la piste (Kts)

➤ **Application sur les pistes aérodrome d'Alger :**

Les deux pistes ont une longueur de 3500 m et chaque une d'entre elle à une sortie rapide et autres droite.

- **Piste 23/05 :** 3 sorties droites (**F2, E2, D2**) ; 1 sortie rapide (**D4**)

**Dégagement F2 :**

$db = 1200 \text{ m}$     $VS = 10 \text{ Kts}$     $\sin(\text{axe, bretelle}) = 90^\circ$

**Dégagement E2 :**

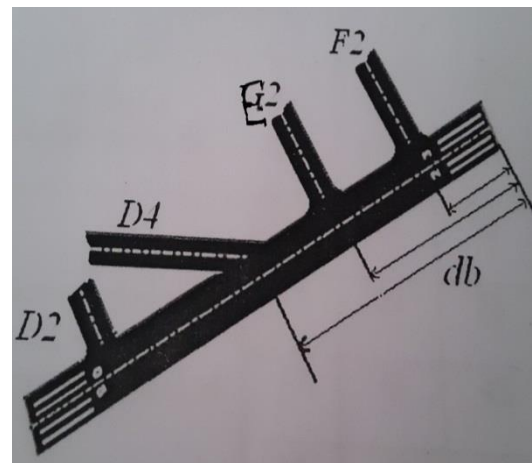
$db = 1950 \text{ m}$     $VS = 10 \text{ Kts}$     $\sin(\text{axe, bretelle}) = 90^\circ$

**Dégagement D2 :**

$db = 2665 \text{ m}$     $VS = 10 \text{ Kts}$     $\sin(\text{axe, bretelle}) = 90^\circ$

**Dégagement D4 :**

$db = 2088 \text{ m}$     $VS = 55 \text{ Kts}$     $\sin(\text{axe, bretelle}) = 30^\circ$



**Figure IV-2 :** schéma représentatif

Type d'avion	Valeur	Ds (m)	Vs (Kts)	Vt (Kts)	Dst (m)	Dag (m)	VS (Kts)	Vr (Kts)
							Et Angle °	
Be-20		200	75	70	175	90	▪ 10 Kts si sortie droite 90°	15
ATR-72		400	100	95	250	90		15
B-737		500	135	130	325	90	▪ 55 Kts si sortie rapide a 30°	15
B-747		600	145	140	350	140		15

**Tableau IV- 6 :** valeur caractéristique

**TOP a l'arrivée pour la piste 23/05 chaque type avion :**

Valeur Type d'avion	TOP F2 (s)	TOP E2 (s)	TOP D2 (s)	TOP D4 Sortie à grande vitesse (s)
Be-20	70	107	143	67
ATR-72	52	81	108	53
B-737	41	63	83	41.5
B-747	48	68	87	39

**Tableau IV-7 : TOP arrivée piste 23**

▪ **Piste 09/27 :**

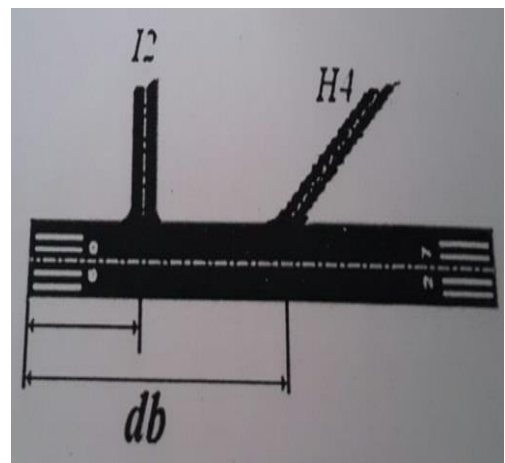
Une sortie droite (I2) et une sortie rapide (H4)

**Dégagement I2 :**

$db = 1230 \text{ m} \quad V_s = 10 \text{ Kts} \quad \sin(\text{axe, bretelle}) = 90^\circ$

**Dégagement H4 :**

$db = 2352 \text{ m} \quad V_s = 55 \text{ Kts} \quad \sin(\text{axe, bretelle}) = 30^\circ$



**Figure IV- 3: Schéma représentatif**

▪ **TOP à l'arrivée pour la piste 09/27 chaque type avion :**

Valeur Type d'avion	Ds (m)	Vs (Kts)	Vt (Kts)	Dst (m)	Dag (m)	VS (Kts) Et Angle °	Vr (Kts)	TOP I2 (S)	TOP H4 (S)
Be-20	200	75	70	175	90	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 10 Kts si sortie droite 90°</li> <li>▪ 55 Kts si sortie rapide à 30°</li> </ul>	15	71	75
ATR-72	400	100	95	250	90		15	53	60
B-737	500	135	130	325	90		15	42	48
B-747	600	145	140	350	140		15	49	45

**Tableau IV-8 : TOP à l'arrivée piste 09**

#### IV.4. Calcul des cadences élémentaires à partir des procédures :

##### A- « Arrivée-arrivée » :

La cadence élémentaire « arrivée-arrivée » est la durée entre deux passages successifs au seuil de piste elle est représenté par la matrice :

$A = [a_{ij}]$  en secondes = espacement minimal de deux arrivées de type i et j au seuil de piste.

1<sup>er</sup> cas : l'avion suiveur rattrape l'avion en tête :  $V_{a_i} < V_{a_j}$

$V_{a_i}$  (Kts) = vitesse moyenne sur une trajectoire d'approche finale de l'Avion de type i/j.

$m_{ij}$  : L'espacement minimale qui peut être appliqué au seuil de piste.

On a :

$$a_{ij} = \text{Max} (3600 * m_{ij} / V_{a_i} ; 3600 * LAA / V_{a_j} + TOP_i) \quad (IV.6)$$

$m_{ij}$  : max (E, TS<sub>ij</sub>) en Nm

E : espacement longitudinal minimal lié à la qualité de surveillance (radar) en Nm.

TS<sub>ij</sub> : espacement longitudinal minimal des avions types i et j du a la turbulence de sillage en Nm.

TOP<sub>i</sub> : temps d'occupation piste à l'arrivée par l'avion de type i en Secondes.

LAA : distance entre la limite d'autorisation d'atterrir et le seuil.

2<sup>ème</sup> cas : l'avion de tête plus rapide que l'avion suiveur :  $V_{a_i} > V_{a_j}$

$V_{a_i}$  (Kts) = vitesse moyenne sur une trajectoire d'approche finale de l'Avion de type i/j.

$m_{ij}$  : L'espacement minimale qui doit être appliqué dès le début de l'approche final.

On a :

$$a_{ij} = \text{Max} (3600 * m_{ij} / V_{a_i} + La(1/V_{a_j} - 1/V_{a_i}) ; 3600 * LAA / V_{a_j} + TOP_i) \quad (IV.7)$$

Avec :

$m_{ij}$  : max (E, TS<sub>ij</sub>) en Nm

E : espacement longitudinal minimal lié à la qualité de surveillance en Nm.

TS<sub>ij</sub> : espacement longitudinal minimal des avions types i et j du a la turbulence de sillage en Nm.

La : longueur de trajectoire approche finale en Nm.

TOP<sub>i</sub> : temps d'occupation piste à l'arrivée par l'avion de type i en Secondes.

LAA : distance entre la limite d'autorisation d'atterrir et le seuil.

### **B- « Arrivée-Départ » :**

La cadence élémentaires entre a avion a l'arrivée et un avion au départ dépend de :

- Temps d'occupation de piste de l'avion en tête (pas d'autorisation de décollage pour l'avion suiveur tant que l'avion en tête n'a pas encore dégagé la piste).
- L'espacement minimal du a la turbulence de sillage, en cas de seuil décalé.

La cadence élémentaire arrivée-départ est représentée par la matrice :

$B = [b_{ij}]$  en secondes = espacement minimal entre une arrivée de type i et un départ de type j au seuil de piste.

On a :

$$b_{ij} = \max (TOP_i , S_{ij}) \quad (IV.8)$$

Avec :

$TOP_i$  : temps d'occupation de piste a l'arrivée de l'avion de type i.

$$S_{ij} : \begin{cases} ts_{ij} : \text{s'il existe seuil décaler.} \\ 0 \text{ sinon.} \end{cases}$$

### **C- « Départ-arrivée » :**

Les arrivées sont prioritaire a partir d'un point fictif, situé en amont du seuil de piste, qu'on appelle **verrou**. Sa position dépend des catégories d'aéronefs en présence. L'espacement minimal appliquer entre un avion au départ et un autre a l'arrivé correspond donc à la distance entre le verrou et le seuil de piste.

La cadence élémentaire départ-arrivée est représentée par la matrice suivante :

$C = [c_{ij}]$  en secondes = espacement minimal entre un avion au départ de type i et un avion a l'arrivé type j au seuil de piste.

On a : 
$$c_{ij} = 3600 * X_{ij} / V_{aj} \quad (IV.9)$$

$X_{ij}$  : distance entre le verrou et le seuil de piste en Nm.

$V_{aj}$  : vitesse moyenne sur la trajectoire d'approche finale de l'avion de queue en Kts.

### **D- « Départ-départ » :**

La cadence élémentaire Départ-départ\_ est présentée par la matrice suivantes :

$D = [d_{ij}]$  en secondes = espacement minimal entre deux départ de type i et j au seuil de piste.

$$d_{ij} = \max (TOP_i, ts_{ij}, e_{ij}) \quad (IV.10)$$

Avec :

$TOP_i$  : temps d'occupation de piste au départ d'avion de type i en secondes.

$ts_{ij}$  : espacement minimal des avions de types i et j du au turbulence de sillage en secondes.

$e_{ij}$  : autres contraintes d'espacement des avions de i et j liées à la qualité de la surveillance au mode d'espacement vertical longitudinal au routage (divergente ou non).

#### **IV.5. Cadence moyenne :**

La cadence moyenne représente la durée moyenne entre deux arrivées successives, deux départs successifs, une arrivée et un départ successifs et un départ et une arrivée successifs elle est calculée pour chaque séquence.

$$\text{Cadence moyenne arrivée-arrivée} = \bar{A} = {}^tP \cdot A \cdot P \quad (IV.11)$$

$$\text{Cadence moyenne arrivée-départ} = \bar{B} = {}^tP \cdot B \cdot P \quad (IV.12)$$

$$\text{Cadence moyenne départ-arrivée} = \bar{C} = {}^tP \cdot C \cdot P \quad (IV.13)$$

$$\text{Cadence moyenne départ-départ} = \bar{D} = {}^tP \cdot D \cdot P \quad (IV.14)$$

Avec :  $P = [P_i]$  = matrice 1\*4 ou  $P_i$  ( $i = 1$  à  $4$ ) = proportion des avions de types i par rapport au volume total de trafic.

${}^tP$  : la matrice transposée de la matrice P.

#### **IV.6. Application numérique:**

##### **IV.6.1. Calcule des cadences élémentaires :**

Pour le calcul des cadences élémentaires. On prend le cas le plus écheant, c.-à-d. lorsqu'un avion atterrit il dégage par la sortie à grande vitesse (sortie rapide SGV).

Et un espacement longitudinal minimal de 7 Nm (surveillance radar).

En utilisant le tableau des vitesses d'approche finale suivante :

	Be-20	ATR-72	B-737	B-747
Vitesse d'approche en finale (Kts)	98	105	141	157
TOP SGV	67	53	41.5	39

**Tableau VI-9:** vitesse moyenne en final Kts et TOP QFU 23

	Be-20	ATR-72	B-737	B-747
Vitesse d'approche en finale (Kts)	98	105	141	157
TOP SGV	75	60	48	45

Tableau IV-10 : vitesse moyenne en final Kts et TOP QFU09

On a : LAA = 7 Nm et La= 15 Nm

**A- « Arrivée-arrivée » :**

1<sup>er</sup> cas : l'avion suiveur rattrape l'avion en tête :  $V_{a_i} < V_{a_j}$

$$a_{ij} = \text{Max} (3600 * m_{ij} / V_{a_j} ; 3600 * LAA / V_{a_j} + TOP_i) \quad (IV.6)$$

2<sup>ème</sup> cas : l'avion de tête plus rapide que l'avion suiveur :  $V_{a_i} > V_{a_j}$

$$a_{ij} = \text{Max} (3600 * m_{ij} / V_{a_i} + La(1/V_{a_j} - 1/V_{a_i}) ; 3600 * LAA / V_{a_j} + TOP_i) \quad (IV.7)$$

✓ Construction de la matrice  $A = [a_{ij}]$  :

On prend un exemple  $[a_{2,3}]$  pour montrer le calcul et on remplira la matrice avec les mêmes étapes :

$V_{a_2} = 120$  Kts     $V_{a_3} = 150$  Kts donc  $V_{a_2} < V_{a_3}$

$$a_{2,3} = \text{Max} (3600 * m_{2,3} / V_{a_2} ; 3600 * LAA / V_{a_3} + TOP_2) \quad (IV.6)$$

$m_{2,3}$  : 7 Nm surveillance radar (AIP ALGERIE dans ENR 1-6-1 paragraphe 1)

$TOP_2$  : 51.5 S.

LAA : 7 Nm .

Application numérique :

$$a_{2,3} = \text{Max} (3600 * 7 / 120 ; 3600 * 7 / 150 + 51.5) \quad a_{2,3} = \text{Max}(178 ; 231) \quad a_{2,3} = 231 \text{ s}$$

**B- « Arrivée-Départ » :**

$$b_{ij} = \text{max} (TOP_i , S_{ij}) \quad (IV.8)$$

✓  $S_{ij} = 0$  pas de seuil décalé.

**C- « Départ-arrivée » :**

$$c_{ij} = 3600 * X_{ij} / V_{aj} \quad (IV.9)$$

Piste 23/05 : Le verrou (OA) se trouve à une distance de  $X_{ij} = 6.64 \text{ Nm}$  pour n'importe quel type d'appareil.

Piste 09/27 : Le verrou se trouve à une distance de  $X_{ij} = 5.5 \text{ Nm}$  pour n'importe quel type d'appareil.

**D- « Départ-départ » :**

$$d_{ij} = \max (TOP_i, ts_{ij}, e_{ij}) \quad (IV.10)$$

Tableau représentatif des matrices des cadences élémentaires des deux pistes d'aérodrome d'Alger :

cadences élémentaires : Piste 23/05	cadences élémentaires : Piste 09/27
$A = \begin{pmatrix} 324 & 307 & 246 & 225 \\ 310 & 292 & 231 & 214 \\ 299 & 282 & 220 & 202 \\ 296 & 279 & 218 & 200 \end{pmatrix}$	$A = \begin{pmatrix} 332 & 315 & 254 & 236 \\ 317 & 300 & 239 & 221 \\ 305 & 288 & 227 & 209 \\ 302 & 285 & 224 & 206 \end{pmatrix}$
$B = \begin{pmatrix} 67 & 67 & 67 & 67 \\ 53 & 53 & 53 & 53 \\ 41 & 41 & 41 & 41 \\ 39 & 39 & 39 & 39 \end{pmatrix}$	$B = \begin{pmatrix} 75 & 75 & 75 & 75 \\ 60 & 60 & 60 & 60 \\ 48 & 48 & 48 & 48 \\ 45 & 45 & 45 & 45 \end{pmatrix}$
$C = \begin{pmatrix} 244 & 227 & 167 & 152 \\ 244 & 227 & 167 & 152 \\ 244 & 227 & 167 & 152 \\ 244 & 227 & 167 & 152 \end{pmatrix}$	$C = \begin{pmatrix} 202 & 188 & 140 & 126 \\ 202 & 188 & 140 & 126 \\ 202 & 188 & 140 & 126 \\ 202 & 188 & 140 & 126 \end{pmatrix}$
$D = \begin{pmatrix} 86 & 86 & 86 & 86 \\ 120 & 120 & 120 & 74 \\ 120 & 120 & 120 & 75 \\ 120 & 120 & 120 & 77 \end{pmatrix}$	$D = \begin{pmatrix} 86 & 86 & 86 & 86 \\ 120 & 120 & 120 & 74 \\ 120 & 120 & 120 & 75 \\ 120 & 120 & 120 & 77 \end{pmatrix}$

Tableau IV-11 : Cadences élémentaires des pistes d'aérodrome d'Alger

#### IV.6.2. Calcul de cadences moyennes :

Afin de déterminer les cadence moyenne en applique les formules (IV.11) ; (IV.112) ; (IV.13) ; (IV.14) ; et on a besoin également de la matrice de proportion des avions de type i par rapport au volume total du trafic de l'heure la plus dense de la journée type.

La journée type, et dénommée « caractéristique » pour dimensionner un système de piste est choisie comme représentative du fonctionnement à forte charge de l'aéroport pour, mais sans qu'il s'agisse d'une charge exceptionnelle (les heures de pointe ne sont donc pas nécessairement les plus fortes heures de pointe enregistrées). Pour la journée du 13 décembre 2015 l'aéroport d'Alger a marqué un trafic maximal de 286 mouvements détaillé dans le tableau suivants :

Tranche d'horaire	arrivée	départ	Nombre de mvts
00h-01h	1	0	1
01h-02h	3	1	4
<b>02h-03h</b>	0	0	0
03h-04h	3	2	5
04h-05h	2	4	6
05h-06h	5	10	15
<b>06h-07h</b>	8	5	13
07h-08h	14	3	17
08h-09h	6	11	17
09h-10h	5	14	19
10h-11h	11	9	20
11h-12h	11	6	17
12h-13h	11	6	17
13h-14h	9	11	20
14h-15h	7	12	19
15h-16h	11	8	19
16h-17h	7	9	16
17h-18h	10	12	22
18h-19h	8	4	12
19h-20h	2	5	7
20h-21h	5	3	8
21h-22h	6	1	7
22h-23h	4	1	5
<b>Nombre de mouvements total de la journée</b>			<b>286</b>

**Tableau IV-12 :** Nombre mouvements enregistré journée type



D'après le tableau précédent nous observons que le plus grand nombre de mouvement 22 Mvts a été enregistré de 17h à 18h. Nous allons détailler ces informations :

Type	Catégorie	Arrivée	Départ
B736	3	2	2
CRJ2	2	1	1
B738	3	1	1
AT72	2	3	1
A320	3	1	1
DHC8	2	2	1
A319	3	2	2
AT75	2	0	1
Total		12	10

**Tableau IV-13** : les catégories d'avion de la journée type

Nombre de mouvement : 22 mouvements ; Dont : 10 arrivées et 12 départs.

Catégorie d'appareil :

Catégorie 1 : 0 soit 0 /22

Catégorie 2 : 10 soit 10 /22

Catégorie 3 : 12 soit 12/22

Catégorie 4 : 0 soit 0 /22

**Calcul de Cadence moyenne piste 23/05 :**

**« arrivée-arrivée »  $\bar{A}$  :**

$$\checkmark \bar{A} = {}^tP . A . P$$

$$\bar{A} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{10}{22} & \frac{12}{22} & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 324 & 307 & 246 & 225 \\ 317 & 300 & 239 & 221 \\ 299 & 282 & 220 & 202 \\ 296 & 279 & 218 & 200 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 10/22 \\ 12/22 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \bar{A} = 256 \text{ s}$$

**« arrivée-départ »  $\bar{B}$  :**

$$\checkmark \bar{B} = {}^tP . B . P$$

$$\bar{B} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{10}{22} & \frac{12}{22} & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 67 & 67 & 67 & 67 \\ 53 & 53 & 53 & 53 \\ 41 & 41 & 41 & 41 \\ 39 & 39 & 39 & 39 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 10/22 \\ 12/22 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \bar{B} = 46 \text{ s}$$

**« départ-arrivée »  $\bar{C}$  :**

✓  $\bar{C} = {}^t P . C . P$

$$\bar{C} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{10}{22} & \frac{12}{22} & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 244 & 227 & 167 & 152 \\ 244 & 227 & 167 & 152 \\ 244 & 227 & 167 & 152 \\ 244 & 227 & 167 & 152 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 10/22 \\ 12/22 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \bar{C} = 112s$$

**« départ-départ »  $\bar{D}$  :**

✓  $\bar{D} = {}^t P . D . P$

$$\bar{D} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{10}{22} & \frac{12}{22} & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 86 & 86 & 86 & 86 \\ 120 & 120 & 120 & 77 \\ 120 & 120 & 120 & 66 \\ 120 & 120 & 120 & 120 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 10/22 \\ 12/22 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \bar{D} = 120s$$

**Calcul de Cadence moyenne piste 09/27 :**

✓  $\bar{A} = {}^t P . A . P$

$$\bar{A} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{10}{22} & \frac{12}{22} & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 332 & 315 & 254 & 236 \\ 338 & 268 & 226 & 215.5 \\ 305 & 288 & 227 & 209 \\ 302 & 285 & 224 & 206 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 10/22 \\ 12/22 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \bar{A} = 250 s$$

**« arrivée-départ »  $\bar{B}$  :**

✓  $\bar{B} = {}^t P . B . P$

$$\bar{B} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{10}{22} & \frac{12}{22} & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 75 & 75 & 75 & 75 \\ 60 & 60 & 60 & 60 \\ 48 & 48 & 48 & 48 \\ 45 & 45 & 45 & 45 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 10/22 \\ 12/22 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \bar{B} = 53 s$$

**« départ-arrivée »  $\bar{C}$  :**

✓  $\bar{C} = {}^t P . C . P$

$$\bar{C} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{10}{22} & \frac{12}{22} & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 202 & 188 & 140 & 126 \\ 202 & 188 & 140 & 126 \\ 202 & 188 & 140 & 126 \\ 202 & 188 & 140 & 126 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 10/22 \\ 12/22 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \bar{C} = 161 \text{ s}$$

**« départ-départ »  $\bar{D}$  :**

✓  $\bar{D} = {}^t P . D . P$

$$\bar{D} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{10}{22} & \frac{12}{22} & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 86 & 86 & 86 & 86 \\ 120 & 120 & 120 & 77 \\ 120 & 120 & 120 & 74 \\ 120 & 120 & 120 & 75 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 10/22 \\ 12/22 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \bar{D} = 120 \text{ s}$$

**IV.7. Calcul de capacité horaire :**

**a. Capacité horaire arrivées «  $Ch_a$  » :**

La capacité horaire arrivées et exprimé en mouvement d'avion par heure, représente le nombre maximal d'arrivée que le système de pistes peut écouler en une heure, le seuil de piste arrivée étant pris comme référence.

$$\mathbf{Ch_a (mvt/h) = 3600 / \bar{A}} \quad \mathbf{(IV.15)}$$

Ou  $\bar{A}$  = cadence moyenne des arrivées

**b. Capacité horaire départs «  $Ch_d$  » :**

La capacité horaire départs et exprimé en mouvement d'avion par heure, représente le nombre maximal de départ que le système de pistes peut écouler en une heure, le seuil de piste départ étant pris comme référence.

$$\mathbf{Ch_d (mvt/h) = 3600 / \bar{D}} \quad \mathbf{(IV.16)}$$

Ou  $\bar{D}$  = cadence moyenne des départs

**c. Capacité horaire mixte avec priorité au arrivée « Chm<sub>a</sub>» :**

La capacité horaire mixte avec priorité de aux arrivées est égale à la somme de la capacité horaire arrivée et le nombre de départ qu'il est possible d'insérer par heure dans le flux des arrivées celle-ci étant prioritaire.

Pour la détermination du nombre de départ qu'il est possible d'insérer dans le flux des arrivées il doit être tenu compte du débit des départs qui, s'il est insuffisant peut limiter l'insertion des départs dans les trous du flux des arrivées.

➤ **Méthode calcul de la « Chm<sub>a</sub>» :**

Soit les instants  $T_i$  et  $T_j$  de passage au seuil de piste des avions tête, de type i, et queue, de type j.

$g_{ij}$  (en s) =  $t_i - t_j$  (IV.17) représente l'intervalle de temps pendant lequel il est possible d'insérer un ou plusieurs départs en deux arrivées.

Avec :

$$t_i = T_i + b'_i \quad \text{(IV.18)}$$

$$t_j = T_j + c'_j \quad \text{(IV.19)}$$

Ou :

$$b'_i : \text{cadence élémentaire « arrivé de type i – départ moyen »} = \sum P_k b_{ik} \quad \text{(IV.20)}$$

$$c'_j : \text{cadence élémentaire « départ moyen – arrivé de type j »} = \sum P_k C_{kj} \quad \text{(IV.21)}$$

$P_k$  = proportion des avions de type k.

$$b_{ik} \begin{cases} = \text{Cadence élémentaire « arrivé de type i – départ de type k »} \\ = \max (TOP_i, S_{ik}) \end{cases}$$

$TOP_i$  = temps d'occupation de piste à l'arrivée de l'avion de type i

$$S_{ik} \begin{cases} = ts_{ik} \text{ s'il existe seuil décalé} \\ = \text{sinon } 0 \end{cases}$$

$ts_{ik}$  en s = espacement minimal des avions de type i et k du a la turbulence de sillage.

$$C_{kj} \begin{cases} = \text{cadence élémentaire « départ de type k – arrivé de type j »} \\ = X_{kj} / V_{aj} \quad \text{(IV.22)} \end{cases}$$

$X_{kj}$  (Nm) = distance entre le point verrou et le seuil de piste au-delà duquel une arrivée de type j bloque un départ de type k.

$Va_j$  (Kts) = vitesse sur le trajectoire d'approche finale de l'avion de type j.

On a :

$$g_{ij} = T_i - T_j - (b'_i + c'_j) = a_{ij} - (b'_i + c'_j) \quad (\text{IV.23})$$

Avec  $a_{ij}$  : cadence « élémentaire arrive de type i – départ de type j ».

«  $n_{dj}$  » représente le nombre de départ qu'il est possible d'insérer entre deux arrivées de types i et j, dans l'hypothèse où le débit est suffisant pour ne pas limiter leur insertion dans les trous du flux des arrivées.

$$n_{dij} \begin{cases} = E(g_{ij} / \bar{D}) + 1 & \text{si } g_{ij} > 0 \\ = \text{sinon } 0 \end{cases} \quad (\text{IV.23}) \quad \text{avec } n_d \text{ la matrice } n_d = [n_{dij}]$$

Soit  $\bar{n}_d$  le nombre moyen de départ qu'il est possible d'insérer entre deux arrivées, dans l'hypothèse où le débit des départs est suffisant pour ne pas limiter leur insertion dans les trous du flux des arrivées.

$$\bar{n}_d = {}^t P \cdot n_d \cdot P \quad (\text{IV.24})$$

Soit  $N_d$  le nombre de départ qu'il est possible d'insérer dans le flux d'arrivées par heure, dans l'hypothèse où le débit des départs peut limiter leur insertion dans les trous du flux des arrivées.

$N_d$  ne peut pas être supérieure à  $Ch_d$

Si les départs se présentent correctement devant les trous du flux des arrivées ( $Ch_a/ch_d < 1$ )

$$N_d = \min ( Ch_d ; Ch_a * \bar{n}_d ) \quad (\text{IV.24})$$

Dans le cas contraire, il faut diviser le terme  $Ch_a * \bar{n}_d$  par le terme :

$$ABS[E(1-Ch_a/Ch_d)+1] \quad (\text{IV.25}), \text{ pour représenter le fait que l'on peut insérer un}$$

départ que tous les deux trous, les trois trous...

Avec :

ABS = « valeur absolue » ; E = « partie entière »,

Formulation :

$$N_d = \min \{ Ch_d ; Ch_a * \bar{n}_d / ABS[E(1-Ch_a/Ch_d)+1] \} \quad (\text{IV.26}) \text{ d'où}$$

$$Chm_a = Ch_a + N_d \quad (\text{IV.27})$$

$$Chm_a = Ch_a + \min \{ Ch_d ; Ch_a * \bar{n}_d / ABS[E(1-Ch_a/Ch_d)+1] \} \text{ mvt/h} \quad (\text{IV.28})$$

#### d. Capacité horaire mixte avec priorité au départx Chm<sub>d</sub> :

La capacité horaire mixte avec priorité de aux départs est égale à la somme de la capacité horaire départs et le nombre de d'arrivées qu'il est possible d'insérer par heure dans le flux des départs celle-ci étant prioritaire.

Pour la détermination du nombre d'arrivées qu'il est possible d'insérer dans le flux des départs il doit être tenu compte du débit des arrivées qui, s'il est insuffisant peut limiter l'insertion des arrivées dans les trous du flux des départs.

##### ➤ Méthode calcul de la « Chm<sub>d</sub> » :

Soit les  $T_i$  et  $T_j$  instants de passage au seuil de piste des avions tête, de type  $i$ , et queue, de type  $j$ .

$l_{ij}(\text{en s}) = t_i - t_j$  (IV.29) représente l'intervalle de temps pendant lequel il est possible d'insérer un ou plusieurs départs en deux arrivées.

Avec :

$$t_i = T_i + c'_i \quad (\text{IV.30})$$

$$t_j = T_j + b'_j \quad (\text{IV.31})$$

ou :

$$b'_j : \text{cadence élémentaire « arrivé moyen – départ de type } j \text{ »} = \sum P_k b_{kj} \quad (\text{IV.32})$$

$$c'_i : \text{cadence élémentaire « départ de type } i \text{ – arrivé moyen »} = \sum P_k c_{ik} \quad (\text{IV.33})$$

$P_k$  = proportion des avions de type  $k$ .

$$b_{kj} \begin{cases} = \text{Cadence élémentaire « départ de type } k \text{ – arrivée de type } j \text{ »} \\ = \max (TOP_k, S_{kj}) \end{cases}$$

$TOP_k$  = temps d'occupation de piste à l'arrivée de l'avion de type  $k$

$$S_{kj} \begin{cases} = ts_{kj} \text{ s'il existe seuil décalé} \\ = \text{sinon } 0 \end{cases}$$

$ts_{ik}$  en s = espacement minimal des avions de type  $i$  et  $k$  du a la turbulence de sillage.

$$C_{kj} \begin{cases} = \text{cadence élémentaire « départ de type } k \text{ – arrivé de type } j \text{ »} \\ = 3600 * X_{ik} / Va_i \quad (\text{IV.34}) \end{cases}$$

$X_{ik}$  (Nm) = distance entre le point verrou et le seuil de piste au-delà duquel une arrivée de type k bloque un départ de type i.

$V_{a_i}$  (Kts) = vitesse sur le trajectoire d'approche finale de l'avion de type i.

On a :

$$l_{ij} = T_j - T_i - (b'_j + c'_j) = d_{ij} - (b'_j + c'_j) \quad (IV.35)$$

Avec  $d_{ij}$  : cadence « élémentaire arrive de type i – départ de type j ».

«  $n_{aj}$  » représente le nombre d'arrivées de qu'il est possible d'insérer entre deux départs de types i et j, dans l'hypothèse où le débit est suffisant pour ne pas limiter leur insertion dans les trous du flux des départs.

$$n_{ij} \begin{cases} = E(l_{ij} / \bar{A}) + 1 & \text{si } l_{ij} > 0 \\ = \text{sinon } 0 \end{cases} \quad (IV.36) \quad \text{avec } n_a \text{ la matrice } n_a = [n_{ij}]$$

Soit  $\bar{n}_a$  le nombre moyen de d'arrivées qu'il est possible d'insérer entre deux départs, dans l'hypothèse où le débit des arrivées est suffisant pour ne pas limiter leur insertion dans les trous du flux des départs.

$$\bar{n}_a = {}^t P \cdot n_a \cdot P \quad (IV.37)$$

Soit  $N_a$  le nombre de d'arrivées qu'il est possible d'insérer dans le flux de départs par heure, dans l'hypothèse où le débit des arrivées peut limiter leur insertion dans les trous du flux des départs.

$N_a$  ne peut pas être supérieure à  $Ch_a$

Si les arrivées se présentent correctement devant les trous du flux des départs ( $Ch_d/ch_a < 1$ )

$$N_a = \min ( Ch_a ; Ch_d * \bar{n}_a ) \quad (IV.38)$$

Dans le cas contraire, il faut diviser le terme  $Ch_d * \bar{n}_a$  par le terme :

**$ABS[E(1-Ch_d/Ch_a)+1]$**  ( IV.39), pour représenter le fait que l'on peut insérer un arrivée que tous les deux trous, les trois trous...

Avec :

ABS = « valeur absolue » ; E = « partie entière »,

Formulation :

$$N_a = \min \{ Ch_a ; Ch_d * \bar{n}_a / ABS[E(1-Ch_d/Ch_a)+1] \} \quad (IV.40)$$

d'où  $Ch_{m_d} = Ch_d + N_a$  (IV.41)

$$Ch_{m_d} = Ch_a + \min \{ Ch_a ; Ch_d * \bar{n}_a / (ABS[E(1-Ch_d/Ch_a)]+1) \} \text{ mvt/h} \quad (IV.42)$$

#### IV.7. Application numérique :

Calcule capacité des deux piste de l'aérodrome d'Alger Houari Boumediene ;

- ✓ Pas de seuil décalé donc  $S_{ik} = 0$  et  $S_{jk} = 0$
- ✓ Les proportion des avions de type k par rapport au trafic total de la journée type :  
 $P_1 = 0$      $P_2 = 10/22$      $P_3 = 12/22$      $P_4 = 0$
- ✓ piste 05/23 : Le verrou (OA) se trouve à une distance de 6.64 Nm pour n'importe quel type d'appareil.
- ✓ Piste 09/27 : Le verrou se trouve à une distance de 5.5 Nm pour n'importe quel type d'appareil.
- ✓ Tout les avions utilisent la sortie rapide (SGV).
- ✓ Espacement minimal longitudinal de 7 Nm de surveillance Radar.

##### ➤ Piste 05/23 :

###### ➤ Capacité horaire « arrivée » $Ch_a$ :

$$Ch_a = 3600 / \bar{A} \quad \longrightarrow \quad Ch_a = 3600/256 \quad \longrightarrow \quad Ch_a = 14 \text{ mvt/heure}$$

###### ➤ Capacité horaire départ $Ch_d$ :

$$Ch_d = 3600 / \bar{D} \quad \longrightarrow \quad Ch_d = 3600/120 \quad \longrightarrow \quad Ch_d = 30 \text{ mvt/heure}$$

##### ➤ Capacité horaire avec mixte priorité aux arrivées :

###### ▪ Calcul des cadences élémentaire « arrivée de type i – départ moyen » :

On a :  $b'_i = \sum P_k b_{ik}$  (VI.20) avec  $K=1,4$ .

$$b_{ik} = \max (TOP_i ; S_{ik})$$

Pour les différent i de k on retrouve les  $b_{ki}$  suivant :

Type k \ Type i	1	2	3	4
1	67s	67s	67s	67s
2	53s	53s	53s	53s
3	41s	41s	41s	41s
4	39s	39s	39s	39s

**Tableau IV- 14:** valeur des cadences élémentaire « arrivée de type i – départ de type k »

- Calcul de  $b'_i$  :

Application dans la formule :

i	1	2	3	4
$b'_i$	67s	53s	41s	39s

**Tableau VI-15 :** valeurs de cadences « arrivée de type i – départ moyen »



▪ **Calcul de cadence élémentaire « départ moyen – arrivée de type j » :**

On a :  $c'_{kj} = \sum P_k b_{kj}$  (VI.21) avec  $K=1,4$ .

$$c_{kj} = 3600 * X_{kj} / Va_j$$

Pour les différent k de j on retrouve les  $c_{kj}$  suivant :

Type j \ Type k	1	2	3	4
1	244s	227s	169s	152s
2	244s	227s	169s	152s
3	244s	227s	169s	152s
4	244s	227s	169s	152s

**Tableau IV-16 :** valeur des cadences élémentaire « départ de type k – arrivée de type j »

i	1	2	3	4
b'i	67s	53s	41s	39s

- Calcul de b'i :

Application dans la formule :

i	1	2	3	4
c'j	244s	229s	169s	159s

**Tableau VI-17:** valeurs de cadences « départ moyen –arrivée de type j»

- Calcul de  $g_{ij}$  :  $g_{ij} = T_i - T_j - (b'_i + c'_j) = a_{ij} - (b'_i + c'_j)$

Pour les différent i et j on trouve les  $g_{ij}$  suivant :

Type j \ Type i	1	2	3	4
1	13s	25s	36s	27s
2	6s	18s	32s	23s
3	-12s	0s	10s	4s
4	-15s	-3s	8s	2s

**Tableau IV- 18:** valeur d'intervalle de temps ou on peut insérer des départs

- Calcule de ndij :

$$\mathbf{nd}_{ij} \begin{cases} = \mathbf{E} (\mathbf{g}_{ij} / \mathbf{D}) + 1 & \text{si } g_{ij} > 0 \\ = \text{sinon } 0 \end{cases} \quad (\text{IV.23}) \quad \text{avec } n_d \text{ la matrice } n_d = [nd_{ij}]$$

$$n_d = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

- Calcule du nombre moyen de départ  $\bar{n}_d$  :

$$\bar{n}_d = {}^t\mathbf{P} \cdot n_d \cdot \mathbf{P}$$

$$\bar{n}_d = \begin{pmatrix} 0 & \frac{10}{22} & \frac{12}{22} & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 10/22 \\ 12/22 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \bar{n}_d = 0.75$$

- **Calcul du nombre de départ  $N_d$  :**

$$Ch_a / Ch_d = 14/30 \quad Ch_a / Ch_d < 1 \text{ donc}$$

$$N_d = \min(ch_a ; ch_a * n_d) \longrightarrow N_d = \min(14 ; 14 * 0.75)$$

Il est possible d'insérer : 10 départs

$$Chm_a = Ch_a + N_d \quad Chm_a = 14 + 10 \longrightarrow \boxed{Chm_a = 24 \text{ mvts/h}}$$

➤ **Calcul de capacité horaire mixte avec priorité au départ  $Ch_{md}$  :**

▪ **Calcul des cadences élémentaire « départ de type i – arrivée moyen » :**

$$\text{On a : } \mathbf{c}'_i = \sum \mathbf{P}_k \mathbf{c}_{ik} \quad \text{avec } K=1,4.$$

$$c_{ik} = 3600 * X_{ik} / Va_k$$

Pour les différent i de k on retrouve les  $b_{ki}$  suivant :

<b>Type k \ Type i</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>243s</b>	<b>227s</b>	<b>169s</b>	<b>152s</b>
<b>2</b>	<b>243s</b>	<b>227s</b>	<b>169s</b>	<b>152s</b>
<b>3</b>	<b>243s</b>	<b>227s</b>	<b>169s</b>	<b>152s</b>
<b>4</b>	<b>243s</b>	<b>227s</b>	<b>169s</b>	<b>152s</b>

**Tableau IV-19:** valeur des cadences élémentaire « départ de type i – arrivée de type k »

- Calcul de  $c^i$  :

Application dans la formule :

<b>i</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b><math>c^i</math></b>	243	227	169	152

**Tableau VI-20:** valeurs de cadences « départ de type i – arrivée moyen »

▪ **Calcul de cadence élémentaire « arrivée moyen – départ de type j » :**

**On a :**  $b'_j = \sum P_k b_{kj}$  avec  $K=1,4$ .

$b_{kj} = \max (TOP_k ; S_{kj})$

Pour les différent k de j on retrouve les  $b_{kj}$  suivant :

<b>Type j \ Type k</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>67s</b>	<b>67s</b>	<b>67s</b>	<b>67s</b>
<b>2</b>	<b>53s</b>	<b>53s</b>	<b>53s</b>	<b>53s</b>
<b>3</b>	<b>41s</b>	<b>41s</b>	<b>41s</b>	<b>41s</b>
<b>4</b>	<b>39s</b>	<b>39s</b>	<b>39s</b>	<b>39s</b>

**Tableau IV-21:** valeur des cadences élémentaire « arrivée de type k – départ de type j »

- Calcul de  $b^j$  :

<b>j</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b><math>b^j</math></b>	46s	46s	46s	46s

**Tableau VI-22 :** valeurs de cadences « arrivée moyen – départ de type j »

- Calcul de  $l_{ij}$  :  $l_{ij} = d_{ij} - (b'_i + c'_j)$

Pour les différent  $i$  et  $j$  on trouve les  $l_{ij}$  suivant :

Type j \ Type i	1	2	3	4
1	-203	-187	-129	-112
2	-169	-153	-95	-121
3	-169	-153	-95	-132
4	-169	-153	-95	-78

Tableau IV-23 : valeur d'intervalle de temps ou on peut insérer des arrivées

- Calcule de  $na_{ij}$  :

$$na_{ij} \begin{cases} = E(l_{ij} / D) + 1 & \text{si } l_{ij} > 0 \quad (\text{IV.23}) \\ = \text{sinon } 0 \end{cases} \quad \text{avec } n_a : \text{ la matrice } n_a = [na_{ij}]$$

$$n_a = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- calcule du nombre moyen de d'arriver  $n_a$  :

$$\bar{n}_a = {}^tP \cdot n_a \cdot P$$

$$\bar{n}_a = \begin{pmatrix} 0 & \frac{10}{22} & \frac{12}{22} & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 10/22 \\ 12/22 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \bar{n}_a = 0$$

- Calcul du nombre d'arrivées  $N_a$  :

$$Ch_d / Ch_a = 30 / 14 \quad 2 > 1 \quad \text{donc}$$

$$N_a = \min \{ Ch_a ; Ch_d * \bar{n}_a / (ABS[E(1-Ch_d/Ch_a)]+1) \} \quad N_a = \min (14 ; 1)$$

Il est possible d'insérer : 1 une arrivée

$$Ch_{m_d} = Ch_d + N_a \quad Ch_{m_d} = 30 + 1$$

$$Ch_{m_d} = 31 \text{ mvt / h}$$

➤ **Piste 09/27:**

➤ **Capacité horaire « arrivée »  $Ch_a$  :**

$$Ch_a = 3600 / \bar{A} \quad \longrightarrow \quad Ch_a = 3600 / 250 \quad \longrightarrow \quad Ch_a = 14$$

➤ **Capacité horaire départ  $Ch_d$  :**

$$Ch_d = 3600 / \bar{D} \quad \longrightarrow \quad Ch_d = 3600 / 120 \quad \longrightarrow \quad Ch_d = 30$$

➤ **Capacité horaire avec mixte priorité aux arrivées :**

- **Calcul des cadences élémentaire « arrivée de type i – départ moyen » :**

On a :  $b'_i = \sum P_k b_{ik}$  avec  $K=1,4$ .

$$b_{ik} = \max (TOP_i ; S_{ik})$$

Pour les différent i de k on retrouve les  $b_{ki}$  suivant :

Type k \ Type i	1	2	3	4
1	75s	75s	75s	75s
2	60s	60s	60s	60s
3	48s	48s	48s	48s
4	45s	45s	45s	45s

**Tableau IV-24 :** valeur des cadences élémentaire « arrivée de type i – départ de type k »

- Calcul de  $b'_i$  :

Application dans la formule :

i	1	2	3	4
$b'_i$	75s	60s	48s	45s

**Tableau VI-25 :** valeurs de cadences « arrivée de type i – départ moyen »

- **Calcul de cadence élémentaire « départ moyen – arrivée de type j » :**

On a :  $c'_j = \sum P_k c_{kj}$  avec  $K=1,4$ .

$$c_{kj} = 3600 * X_{kj} / Va_j$$

Pour les différent k de j on retrouve les  $c_{kj}$  suivant :

Type j \ Type k	1	2	3	4
1	202s	188s	140s	126s
2	202s	188s	140s	126s
3	202s	188s	140s	126s
4	202s	188s	140s	126s

**Tableau IV- 26:** valeur des cadences élémentaire « départ de type k – arrivée de type j »

- Calcul de  $b'_i$  :

Application dans la formule:

j	1	2	3	4
$c'_j$	202s	188s	140s	126s

**Tableau VI-27 :** valeurs de cadences « départ moyen –arrivée de type j»

- Calcul de  $g_{ij}$  :  $g_{ij} = T_i - T_j - (b'_i + c'_j) = a_{ij} - (b'_i + c'_j)$

Pour les différent i et j on trouve les  $g_{ij}$  suivant :

Type j \ Type i	1	2	3	4
1	55s	67s	6s	65s
2	61s	20s	-22s	44s
3	28s	40s	-21s	38s
4	25s	37s	-24s	35s

**Tableau IV-28 :** valeur d'intervalle de temps ou on peut insérer des départs

- Calcule de  $nd_{ij}$  :

$$nd_{ij} \begin{cases} = E(g_{ij} / \bar{D}) + 1 & \text{si } g_{ij} > 0 \\ = \text{sinon } 0 \end{cases} \quad \text{(IV.23)} \quad \text{avec } n_d \text{ la matrice } n_d = [nd_{ij}]$$

$$n_d = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- calcule du nombre moyen de départ  $\bar{n}_d$  :

$$\bar{n}_d = {}^t P \cdot n_d \cdot P$$

$$\bar{n}_d = \begin{pmatrix} 0 & \frac{10}{22} & \frac{12}{22} & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 10/22 \\ 12/22 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \bar{n}_d = 0.45$$

- **Calcul du nombre de départ  $N_d$  :**

$$Ch_a / Ch_d = 14/30 \quad Ch_a / Ch_d < 1 \text{ donc}$$

$$N_d = \min(ch_a ; ch_a * n_d) \longrightarrow N_d = \min(14 ; 14 * 0.45)$$

➤ Il est possible d'insérer :6 départs

$$Chm_a = Ch_a + N_d \quad Chm_a = 14 + 6 \quad \boxed{Chm_a = 20 \text{ mvt/h}}$$

➤ **Calcul de capacité horaire mixte avec priorité au départ  $Chm_d$  :**

▪ **Calcul des cadences élémentaire « départ de type i – arrivée moyen » :**

On a :  $c^i = \sum P_k c_{ik}$  avec  $K=1,4$ .

$$c_{ik} = 3600 * X_{ik} / Va_k$$

Pour les différent i de k on retrouve les  $c_{ki}$  suivant :

Type k \ Type i	1	2	3	4
1	202s	188s	140s	126s
2	202s	188s	140s	126s
3	202s	188s	140s	126s
4	202s	188s	140s	126s

**Tableau IV- 29:** valeur des cadences élémentaire « départ de type i – arrivée de type k »

- Calcul de  $c^i$  :

Application dans la formule :

i	1	2	3	4
$c^i$	161	161	161	161

**Tableau VI-30 :** valeurs de cadences « départ de type i – arrivée moyen »

- **Calcul de cadence élémentaire « arrivée moyen – départ de type j » :**

On a :  $b'_j = \sum P_k b_{kj}$  avec  $K=1,4$ .

$$b_{kj} = \max (TOP_k ; S_{kj})$$

Pour les différent k de j on retrouve les  $b_{kj}$  suivant :

Type j \ Type k	1	2	3	4
1	75s	75s	75s	75s
2	60s	60s	60s	60s
3	48s	48s	48s	48s
4	45s	45s	45s	45s

**Tableau IV- 31:** valeur des cadences élémentaire « arrivée de type k – départ de type j »

- Calcul de  $b'_j$  :

Application dans la formule :

j	1	2	3	4
$b'_j$	53s	53s	53s	53s

**Tableau VI-32:** valeurs de cadences « arrivée moyen – départ de type j »

- Calcul de  $lij$  :  $l_{ij} = d_{ij} - (b'_i + c'_j)$

Pour les différent i et j on trouve les  $lij$  suivant :

Type j \ Type i	1	2	3	4
1	-128	-128	-128	-128
2	-94	-94	-94	-137
3	-94	-94	-94	-140
4	-94	-94	-94	-139

**Tableau IV-33 :** valeur d'intervalle de temps ou on peut insérer des arrivées

- Calcule de  $na_{ij}$  :

$$na_{ij} \begin{cases} = E(l_{ij} / D) + 1 & \text{si } l_{ij} > 0 \quad (\text{IV.23}) \\ = \text{sinon } 0 \end{cases} \quad \text{avec } n_a \text{ la matrice } n_a = [na_{ij}]$$



$$\mathbf{n_a} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- calcul du nombre moyen de départ  $\bar{n}_a$ :

$$\bar{n}_a = {}^t\mathbf{P} \cdot \mathbf{n_a} \cdot \mathbf{P}$$

$$\bar{n}_a = 0$$

**Calcul du nombre d'arrivées  $N_a$ :**

$$Ch_d / Ch_a = 30 / 14 \quad Ch_d / Ch_a > 1 \text{ donc}$$

$$N_a = \min \{ Ch_a ; Ch_d * n_a / (ABS[E(1-Ch_d/Ch_a)]+1) \} \quad N_a = \min (14 ; 1)$$

➤ Il est possible d'insérer : une seule arrivée

$$Ch_{m_d} = Ch_d + N_a \quad Ch_{m_d} = 30 + 1 \longrightarrow Ch_{m_d} = 31 \text{ mvt/h}$$

#### **IV.8. Capacité parking :**

L'aérodrome d'Alger dispose de 46 postes reparti comme suit :

- Parking P1: 09 poste B727.
- Parking P2: 07 postes:
  - P2 grands porteurs: 02 postes B747 ; 01 poste A300
  - P2 moyens porteurs: 03 postes A300 ; 01 poste B 727
- Parking P5 : 03 postes A310 ; 09 poste ATR 42 / 72
- Parking P10: 17 postes
- Parking P11: 01 poste

Chaque catégorie d'aéronef dispose d'un certain nombre de poste de stationnement, et d'un temps d'occupation du poste qui lui est designer:

Catégorie poste	$N_i$	$T_i$
<b>A et B</b>	09	60 min
<b>C</b>	26	90 min
<b>D</b>	7	100 min
<b>E</b>	4	120 min

Ni : nombre de postes de stationnement par type d'aéronefs  
 Ti : temps de traitement par type d'aéronefs  
 Avec un coefficient d'utilisation de 80%

Tableau IV-34 : nombre de postes et temps de traitement par type d'aéronef

#### IV.8.1. calcul de la capacité théorique maximale:

Méthode de calcul :

$$\mathbf{C = 60 * \sum (N_i / T_i)} \quad \text{(IV.43)} \quad \text{avec } i = 1 \text{ à } n.$$

60 : temps de traitement = 1 heure

Sachant que N = postes de stationnement réparti comme suit :

N1 : 11 postes pour gros porteurs (GP)

N2 : 26 postes pour moyen porteurs (MP)

N3 : 09 postes pour petit porteurs (PP)

Application numérique :

$$C_t = 60 * (11 / 120 + 26 / 90 + 9 / 60) \longrightarrow C_t = 31 \text{ avions / heure}$$

- Calcul capacité théorique pour utilisation gros porteur :

$$C_t = 60 * (11/120 + 0/90 + 0/60) \longrightarrow C_t = 5 \text{ avions / heure}$$

- Calcul capacité théorique pour utilisation moyen porteur :

Remarque : Les postes réservés aux GP sont aptes à recevoir le MP donc pour les postes de stationnements : MP = 11+26= 37 postes.

$$C_t = 60 * (0/120 + 37/90 + 0/60) \longrightarrow C_t = 24 \text{ avions / heure}$$

- Calcul capacité théorique petit porteur :

Tous les postes peuvent recevoir le PP donc pour les poste de stationnements PP = :

$$C_t = 60 * (0/120 + 0/90 + 46/60) \longrightarrow C_t = 46 \text{ avions / heure}$$

#### IV.8.2. La capacité opérationnelle :

On a un coefficient d'utilisation égale à 80% :

$$\mathbf{C_o = C_t * 0.80} \quad \text{(IV.44)}$$

- GP :  $C_o = C_t * 0.80 \longrightarrow C_o = 8 \text{ avions/h}$
- MP :  $C_o = C_t * 0.80 \longrightarrow C_o = 19 \text{ avions/h}$
- PP :  $C_o = C_t * 0.80 \longrightarrow C_o = 36 \text{ avions/h}$

### IV.8.3 prévision du nombre de postes de stationnement :

Pour un aéroport de fort trafic plusieurs méthodes de prévision du nombre de postes de stationnement ont été développées. La méthode employée aux États-Unis qui dépend du volume du trafic de l'aéroport et du nombre de postes de stationnement en service :

$$N = [(N_o - 2)T_f / T_o] - 2 \quad (IV.45)$$

**Avec:**

N : nombre de postes à prévoir                      T<sub>f</sub> : le trafic futur  
 N<sub>o</sub> : nombre de poste en service                      T<sub>o</sub> : le trafic actuel

#### Application numérique : année 2015-2020

N<sub>o</sub> : nombre de poste en service                      T<sub>o</sub> : le trafic actuel  
 T<sub>f</sub> : le trafic futur

$$N = [(N_o - 2)T_f / T_o] - 2 \quad N = [(46 - 2) 103981 / 87108] - 2 \quad N = 50 \text{ postes}$$

#### Conclusion:

- En application de ces différentes études théoriques, sur des exemples de cas réel de l'aéroport d'Alger. Les résultats suivants ont été obtenus résumés dans le tableau ci-dessous :

#### TOP (s)

TOP Départ	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
TOP arrivée QFU 23 avec SGV	67	53	41.5	39
TOP Arrivée QFU 09 avec SGV	75	60	48	45

#### CADENCES MOYENNES DES PISTES

	$\bar{A} = t_a$	$\bar{B} = t_{ad}$	$\bar{C} = t_{da}$	$\bar{D} = t_d$
Piste 23/05	256	400	112	120
Piste 09/27	250	53	161	120

#### CAPACITE PISTE (mvt/h)

	Ch <sub>a</sub>	Ch <sub>m<sub>a</sub></sub>	Ch <sub>m<sub>d</sub></sub>	Ch <sub>d</sub>
Piste 23/05	14	24	31	30
Piste 09/27	14	20	31	30

#### CAPACITE PARKING (AVIONS/H)

	Capacité	Nombre de poste
	31 avions/h	46

Tableau IV-35: Répartitions résultantes

## **Conclusion général :**

Les études de capacité portant sur le système pistes servent, dans le cadre de la planification de l'infrastructure aéroportuaire, à l'établissement des documents de planification à long terme de l'aéroport et permettent de juger de l'opportunité de projets d'investissements à court et moyen termes.

La méthode d'approche analytique que nous avons utilisée pour l'évaluation et calcul de la capacité piste de l'aérodrome d'Alger en prenant en considération les types d'aéronefs qui le fréquentent ainsi que leur catégories, leur vitesse d'approche en finale et les séparations existante entre ces aéronefs et le temps d'occupation de la piste pour chaque types, nous avons obtenu le résultat suivant pour les capacités :

- la piste 23/05: 14 mvt/h pour la capacité horaire arrivée et 30 mvt/h pour les départ on se qui concerne la capacité horaire avec priorité au arrivée elle est de 24 mvt/h et pour la priorité au départ : 31 mvt/h

- la piste 09/27: 14 mvt/h pour la capacité horaire arrivée et 30 mvt/h pour les départ on se qui concerne la capacité horaire avec priorité au arrivée elle est de 20 mvt/h et pour la priorité au départ : 31 mvt/h

Prenant pour exemple la piste 23/05 qui a une capacité moyenne déclaré de 10 à 12 mvt/h, effectivement les résultats de notre calcul restent des valeurs théoriques supérieures aux valeurs opérationnelles ou réelles, mais avec une telle différence il y a lieu de s'interroger sur la qualité de la gestion du trafic au sol.

On comparant la capacité piste de l'aéroport d'Alger a d'autre européen qui ont une capacité déclaré de 22 à 88 mvt/h on remarque clairement qu'il est loin d'être saturé.

La capacité parking trouvé pour les différentes catégories de porteur est de 31 avion/heure pour 46 postes utilisé. Notre prévision pour 2020 nous mène a constaté que si on veut éviter la saturation du parking faudra prévoir d'autre poste de stationnement et en effet c'est avec la construction de la nouvelle aérogare d'Alger que ce problème sera résolu.

Une bonne gestion de la circulation au sol un élément clé dans la régulation du flux de trafic à l'arrivée comme au départ qui doit aussi s'attacher à optimiser le déplacement de chaque avion entre l'aire de trafic et la piste (ou inversement) de façon à réduire le temps du roulage et les TOP.

Cette étude pourra être complétée par un développement d'un outil d'assistance automatique à la gestion de l'air de trafic visant à optimiser la circulation au sol.

## Liste des abréviations :

AIP	aeronautical information publication
APCH	Approche
ARR	Arriver
ASDA	Accelerate-stop distance available
ATC	air traffic control
ATS	air traffic services
ATIS	Automatic terminal information service
CO	capacité opérationnelle
CAT	Catégorie
DSNA	Direction des services de la navigation aérienne
DAAG	code OACI aéroport d'Alger
Dd	distance de décollage en mètre
Ds	distance de vol du seuil jusqu'au point de toucher des roues (mètre)
Dst	distance nécessaire à la stabilisation de l'aéronef (mètre)
db (mètre)	distance du seuil à la bretelle de sortie à la quel l'avion est affecté
Dag (mètre)	distance perpendiculaire entre l'axe de piste et le point de dégagement
ENNA	Etablissement National de la navigation aérienne
EGSA	établissement de gestion des services aéroportuaire
E en Nm.	espacement longitudinal minimal lié à la qualité de surveillance (radar)
FAA	federal aviation administration
IFR	instrumental flight rules
ILS	instrumental landing system
IMC	instrumental meteorological conditions
Kts	nœuds (knots) = 1 mile nautique par heure
LDG	Landing Atterrissage
MTOW	maximum take-off weight (masse maximale au décollage)
Mvts	mouvement
NM	nautical miles
MAX	Maximum
MIN	minimum
MSR	minimum de séparation radar
mij l'approche final.	L'espacement minimale qui doit être appliquer dès le début de
OACI	organisation internationale de l'aviation civile
PANS-OPS	procedures for air navigation services - operations
Pax comme	en principe, désigne le nombre annuel de passagers. Il est souvent utilisé abréviation de passager
QFU	Orientation magnétique d'une piste, arrondie à la dizaine de degrés
RCA	réglementation de la circulation aérienne
RCA3	réglementation de la circulation aérienne, fascicule n° 3
RWY	Piste
TWR	Tour de contrôle
TWY	Taxiway
TKOF	Take-off Décollage

SBA	service des bases aériennes
SCTA	service du contrôle du trafic aérien
SIA	service de l'information aéronautique
SID	standard instrumental departure
SGV	sortie à grande vitesse
SSR	secondary surveillance radar
STBA	service technique des bases aériennes: temps mis par l'avion pour parcourir la distance entre la limite d'autorisation d'atterrir et le seuil de piste
L	longueur de piste
LAA	distance entre la limite d'autorisation d'atterrir et le seuil.
TC	transport en commun
TMA	terminal manoeuvring area ou terminal control area (zone aérienne terminale)
TOP	temps d'occupation de piste
TODA	Take-off distance available
TORA	Take-off run available
Tdv	temps de dégagement en vol de l'axe de piste.
TSij	espacement longitudinal minimal des avions types i et j du a la turbulence de sillage en Nm.
	VFR visual flight rules
VL	voitures de location
VMC	visual meteorological conditions
Vd	vitesse de décollage en Kts
Vs	vitesse de passage au seuil d'exploitation (Kts)
Vt	vitesse de toucher de roues (Kts)
VS	vitesse de sortie (Kts)
Vr	vitesse de roulage sur la piste (Kts)
Vaij (Kts)	vitesse moyenne sur une trajectoire d'approche finale de l'Avion de type i/j
Xij	distance entre le verrou et le seuil de piste en Nm.

## Références bibliographiques

### Ouvrage :

- [1] Annexe 14 : Aérodrômes, Volume I, Conception et exploitation technique des aérodrômes, 6e édition et amendement n°11, Edition OACI ,2014
- [2] MERITXELL VIÑAS TIÓ, Study of airport capacity VS efficiency sesar challenges, Barcelona, 2010.
- [3] Capacité des aérogares passagers, Service technique de l'aviation civile, CEDEX, 2010.
- [4] Aérodrômes-Aéroports, Edition ASCO-TP, France 2007.
- [5] Airport capacity prediction with explicit consideration of weather forecast uncertainty, Journal of air transportation Vol 24, No 1, January 2016.
- [6] Antonio A Trani , Airport capacity , Edition Virginia Tech , 2003.
- [7] Caractéristiques géométriques des pistes et bandes, ITAC03.1, 2003.
- [8] Nicolas LETERRIER , Aérodrôme : Description et classification, Service technique des bases aériennes, 2008.
- [9] Lance SHERRY, Capacity of a single runway , 2009.
- [10] Transports Canada, Manuel d'information aéronautique.
- [11] Guide capacité aéroportuaire. Tome 1 de la DGAC (Europe). Edition 2005
- [12] Exploitation technique des aéronefs, « DOC 8168 PANS-OPS »
- [13] Détermination de la capacité d'un aéroport, DGAC, novembre 2005.

### Webographie :

- [14] <http://www.lavionnaire.fr/NormeDifPistes.php>
- [15] <http://www.enna.dz/>
- [16] <http://www.sia-enna.dz/>
- [17] [http://www.iviao.fr/dep/instruction/Manuels/Ipac-FR\\_V2/Debut\\_Ici.php](http://www.iviao.fr/dep/instruction/Manuels/Ipac-FR_V2/Debut_Ici.php)

### Thèses :

- [18] M. STOICA Drago ș, Analyse, représentation et optimisation de la circulation des avions sur une plate-forme aéroportuaire, TOULOUSE, 2004.
- [19] Alidou SINARE, MOUSTAPHA Amadou Roufa, Juliette de Confia, 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, EAMAC, 2007.

