

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université de Blida -1-



Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales
Département : Navigation Aérienne

Mémoire De Fin De Cycle
En Vue De L'obtention Du Diplôme
De Master
Option : Exploitation Aéronautique

Thème

**Re-catégorisation (RECAT) des normes de
l'OACI des séparations dues à la turbulence
De sillage des avions – Application à
l'Aérodrome d'Alger/Houari Boumédiène**

Présenté par :

Mlle : Hamou Mamar Hanane

Mlle : Kadour Benyahya Asma

Encadré par :

Mr.: Hamed Farouk Abd El Ouahab

Promotion: 2014/2015

Table des matières :

Remerciements

Dédicaces

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des annexes

Résumé

Introduction générale 01

Chapitre I : présentation de l'aéroport d'Alger / Houari Boumediène

I.1 Introduction 03

I.2 Présentation de l'aéroport..... 03

 I.2.1 Les obstacles de l'aérodrome 04

 I.2.2 les parties principales de l'aéroport d'Alger 05

I.3 Statistiques de l'aéroport d'Alger 07

 I.3.1 Trafic Passagers de l'aérodrome d'Alger (1995-2014) 07

 I.3.2 Les statistiques mensuelles des trafics passagers pour l'année 2014..... 08

 I.3.3 Les statistiques mensuelles des avions (année 2014) 09

 I.3.4 Les données des piques de trafic du mois de pointe 2013 et 2014..... 10

 I.3.5 Les statistiques mensuelles pour le trafic fret et poste..... 10

I.4 Infrastructures de l'aéroport 11

 I.4.1 Les pistes 11

 I.4.2 Les aérogares 12

 I.4.3 Le type de l'aérogare 13

 I.4.4 Autres installations..... 14

I.5 Code de référence de l'aérodrome d'Alger 14

I.6 Contact avions 15

I.7 Utilisation du Radar et de l'ILS 16

 I.7.1 Radar 16

 I.7.2 ILS..... 16

I.8 Conclusion 17

Chapitre II : Turbulence de sillage

II.1 Introduction 18

II.2 Création des tourbillons 18

II.3 Force des tourbillons 19

 II.3.1 En Région de contrôle 19

 II.3.2 En Route 19

II.4 Roulis induit 19

 II.4.1 Capacité du contrôle du roulis 19

 II.4.2 Contrôle de la riposte 20

II.5 Caractéristiques de la turbulence de sillage 21

 II.5.1 Génération De Vortex 21

Table des matières

II.5.2 Circulation De Vortex	21
II.5.3 Mouvement Vertical	22
II.5.4 Mouvement Latéral	22
II.5.5 Vent	23
II.6 Les effets de la turbulence de sillage sur les aéronefs	24
II.7 Le souffle des réacteurs	24
II.8 Procédures pour éviter la turbulence de sillage.....	24
II.8.1 Les responsabilités de contrôle de la circulation aérienne (ATC)	24
II.8.2 Départ derrière un gros porteur sur la même piste	25
II.8.3 décollage d'intersection	25
II.8.4 Décollage ou atterrissage derrière un gros porteur avec exécution d'une approche interrompue	25
II.8.5 En route VFR (séparation de 500 pieds)	26
II.8.6 Atterrissage derrière un gros porteur	26
II.8.7 Atterrissage derrière le décollage d'un gros porteur	28
II.9 Orientation de la rencontre du vortex	29
II.9.1 Probabilité de danger	29
II.9.2 Visualiser le Chemin du Vortex	30
II.9.3 Contrôle des entrées	30
II.9.4 Entrées de la gouverne de direction	30
II.10 Conclusion	30
Chapitre III : Re-catégorisation de la turbulence de sillage.....	31
III.1 Introduction	31
III.2 Coopération EUROCONTROL / FAA	31
III.3 Les phases de RECAT	31
III.3.1 première phase (RECAT-1)	31
III.3.2 deuxième phase (RECAT-2).....	32
III.3.3 troisième phase (RECAT-3)	32
III.4 L'énoncé du problème	32
III.5 Les participants au programme RECAT	32
III.5.1 Fédéral Aviation Administration (FAA)	32
III.5.2 Eurocontrol	32
III.5.3 organismes de soutien	33
III.6 Les principes du RECAT	33
III.7 Les conditions et la portée du RECAT	33
III.8 Les caractéristiques des aéronefs	33
III.8.1 Le poids	34
III.8.2 Envergure	34
III.8.3 La vitesse d'approche	34
III.8.4 La masse maximale au décollage (MTOW)	34
III.9 Catégories d'aéronefs	34
III.9.1 Les anciennes catégories recommandées par l'OACI	34
III.9.2 Les nouvelles catégories selon le programme RECAT	35
III.10 Les 61 types d'aéronefs utilisés dans le programme RECAT	35

Table des matières

III.11	Classification des avions selon RECAT	36
III.12	Les minimums de séparation	37
III.12.1	Selon l'ancienne catégorisation	37
III.12.2	Selon RECAT :	37
III.13	La comparaison entre les catégories d'OACI et la nouvelle re-catégorisation	38
III.14	Séparation radar	39
III.14.1	Minimums de séparation fondés sur des systèmes de surveillance ATS	39
III.15	Quelques exemples	40
III.16	Les avantages du RECAT	43
III.17	Conclusion	43
Chapitre IV : Méthodologies d'évaluation de la capacité des pistes		
IV.1	Introduction	44
IV.2	Évaluation de la capacité aéroportuaire	44
IV.2.1	Aire de trafic	44
IV.2.2	Coté piste	44
IV.2.2.1	Espace aérien	44
IV.2.2.2	Les voies de circulation	44
IV.2.2.3	Piste	45
IV.3	Les caractéristiques de l'ILS	45
IV.4	Capacité des pistes	46
IV.5	Mesure de la capacité des pistes	46
IV.6	Les enjeux de l'espacement des aéronefs près des pistes	47
IV.7	Les facteurs qui influent sur la capacité des pistes	47
IV.8	Les méthodologies pour étudier la capacité et les retards d'un aéroport.....	47
IV.8.1	modèles analytiques	47
IV.8.2	Les modèles basés sur la simulation	48
IV.9	Analyse Espace – Temps	48
IV.9.1	La nomenclature de l'analyse Temps-Espace	48
IV.10	Modèles analytiques pour la séparation horizontale	49
IV.10.1	Espacement entre-arrivées	49
IV.10.1.1	cas d'ouverture	50
IV.10.1.2	cas de fermeture	51
IV.11	Opérations mixtes, « une seule piste »	52
IV.11.1	Un départ suivi par un départ.....	52
IV.11.2	Un arrivé suivi par un départ	54
IV.11.3	Un départ suivi par un arrivé	55
IV.11.4	Pour les opérations mixtes en générale	55
IV.12	Analyse de l'écart	56
IV.13	Le temps d'occupation de piste	57
IV.13.1	L'évasement	58
IV.13.2	La transition	58
IV.13.3	Le freinage	58
IV.13.4	Le roulage	59
IV.13.5	La sortie	59
IV.14	Conclusion	59

Chapitre V : Application du RECAT sur l'aérodrome d'Alger

V.1 Introduction	60
V.2 Paramètres d'exploitation des pistes de l'aérodrome d'Alger	60
V.2.1 Les procédures d'approches	60
V.2.2 Utilisation des pistes	61
V.2.3 Buffer	62
V.2.4 Vitesses d'approche finale	62
V.3 Calcul de la capacité des deux pistes de l'aérodrome d'Alger	63
V.3.1 La capacité des arrivées	64
V.3.1.2 Cas d'ouverture	64
V.3.2 Calcul de la capacité des départs	67
V.3.2.1 Calcul du temps d'occupation des pistes	67
V.4 Calcul de la capacité des deux pistes avec application de l'ancienne catégorisation (3 catégories) :	73
V.5 Comparaison entre la capacité des deux pistes avec 3 catégories et 6 catégories	74
V.5.1 Atterrissage piste 23 et décollage piste 27	74
V.5.2 Atterrissage piste 09 et décollage piste 05	75
V.6 Conclusion	75
Conclusion générale	76
Bibliographie.	
Annexes.	

Liste des abréviations

Liste des abréviations :

Abréviation	Signification (Anglais)	Signification (Français)
A		
AG	Above ground level	Au dessus du niveau du sol
AGL	Above Ground Level	Au dessus du niveau du sol
AIP	Aeronautical information publication	Publication d'information aéronautique
ALG	Algiers	Algérie
ALT	Altitude	Altitude
ANSP	Air navigation service provider	Prestataire de service de la navigation aérienne
APW	Airspace prohibited warning	Avertissement d'un espace aérien interdit
ASDA	Accelerate-stop distance available	Longueur utilisable pour l'accélération arrêt
ATC	Air traffic control (in general)	Contrôle de la circulation aérienne (en général)
ATO	Assisted take-off	Décollage assisté
C		
CAT	Category	Catégorie
CWY	Clearway	Prolongement dégagé
D		
DAAG		Code OACI de l'Aéroport d'Alger
DME	Distance measuring equipment	Dispositif de mesure de distance
DVOR	Doppler VOR	VOR Doppler
E		
EGSA		Etablissement de Gestion de Services Aéroportuaires
ENNA		Etablissement National de Navigation Aérienne
F		
FAA	Federal Aviation Administration	Fédéral Aviation Administration
G		
GP	Glide path	Alignement de descente
GS	Ground speed	Vitesse sol
I		
IATA	International Air Transport Association	L'Association internationale du transport aérien
IFR	Instrument flight rules	Règles de vol aux instruments
ILS	Instrument landing system	Système d'atterrissage aux instruments
L		
LDA	Landing distance available	Longueur utilisable à l'atterrissage
LLZ	Localizer	Radiophare d'alignement de piste

Liste des abréviations

M		
MHZ	Mega hertz	Méga hertz
MM	Middle marker	Radioborne intermédiaire
MRS	Minimum Radar Separation	Séparation minimale du Radar
MSAW	Minimum safe altitude warning	Avertissement d'altitude minimale de sécurité
MTOW	Maximum Take-Off Weight	la Masse Maximale au Décollage
N		
NDB	Non-directional radio beacon	Radiophare non directionnel
O		
OACI	International Civil Aviation Organization	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OM	Outer marker	Radio borne extérieure
ONM		Office National de la Météorologie
P		
PAF		Police de l'Air et des Frontières
PAPI	Precision approach path indicator	Indicateur de trajectoire d'approche de précision
PCN	Pavement classification number	Numéro de classification de chaussée
PSR	Primary surveillance radar	Radar primaire de surveillance
R		
RADAR	RAdio Detection And Ranging	la détection et télémétrie par radio
RECAT	Re-categorization	Re-catégorisation
RVR	Runway visual range	Portée visuelle de piste
RWY	Runway	Piste
S		
SCTA	Short Term Conflict Alert	Alerte d'un conflit à court terme
SGSIA		Société de Gestion des Services et Infrastructures Aéroportuaires
SMR	Surface movement radar	Radar de mouvements de surface
SSR	Secondary surveillance radar	Radar secondaire de surveillance
SWY	Stop way	Prolongement d'arrêt
T		
TDZ	Touch down zone	Zone de toucher des roues
THR	Threshold	Seuil
TMA	Terminal control area	Région terminale de contrôle
TODA	Take-off distance available	Distance utilisable au décollage
TORA	Take-off run available	Distance de roulement utilisable au décollage
TWR	Aerodrome control tower or aerodrome control	Tour de contrôle d'aérodrome ou contrôle d'aérodrome
TWY	Taxiway	Voie de circulation
V		

Liste des abréviations

V_{APP}	Approach Speed	Vitesse d'approche
VFR	Visual flight Rules	Règles de vol à vue
VOR	VHF omnidirectional radio range	Radiophare omnidirectionnel VHF
V_s	Stall Speed	Vitesse de décrochage
Z		
ZEM		Zemouri

Liste des figures

Liste des figures :

Chapitre I :

Figure I.1 : Maquette de l'aéroport d'Alger avec la future aérogare	03
Figure I.2: Les instruments de radionavigation des deux pistes de l'aérodrome d'Alger.....	06
Figure I.3: Trafics passagers de l'aérodrome d'Alger 1995-2014	08
Figure I.4 : Trafic 2005-2014 à l'aéroport d'Alger	09
Figure I.5: Trafic mensuels 2013 et 2014	10
Figure I.6: Les deux pistes de l'aérodrome d'Alger.....	11
Figure I.7: L'aérogare internationale d'Alger	13
Figure I.8: Le type de l'aérogare d'Alger	14
Figure I.9: Carte de l'aéroport d'Alger	15

Chapitre II :

Figure II.1 : Turbulence de sillage des aéronefs	18
Figure II.2 : Le processus du roulis	19
Figure II.3 : Roulis induit.....	20
Figure II.4 : Sillage par opposition à la taille de l'aéronef.....	20
Figure II.5 : Points de touchez des roues de précédant et suivant avion.....	21
Figure II.6 : Mouvement de vortex en effet de sol – vent arrière	22
Figure II.7 : Descente du vortex de gros porteur	22
Figure II.8 : Mouvements de vortex des gros porteurs volant à basse altitude.....	23
Figure II.9 : Effet de vent de travers de 03 nœuds sur les tourbillons des avions volant à basse altitude	23
Figure II.10 : Effet de vent de travers de 06 nœuds sur les tourbillons des avions volant à basse altitude	24
Figure II.11 : départ de la même piste derrière un gros porteur.....	25
Figure II.12 : situations critiques du décollage et le traverse en cours de départ	26
Figure II.13 : procédures de prévention pour l'atterrissage derrière un gros porteur sur la même piste.....	27
Figure II.14 : procédures de prévention pour l'atterrissage dans des pistes parallèles séparées de moins de 2500ft	27
Figure II.15 : procédures de prévention pour l'atterrissage derrière un gros porteur qui utilise une piste de croisement (vent nul).....	28
Figure II.16 : atterrissage derrière le décollage d'un gros porteur sur la même piste.....	28
Figure II.17 : évitement de l'atterrissage derrière le départ d'un gros porteur sur une piste croisée si le point de rotation est après l'intersection.....	29
Figure II.18 : évitement de l'atterrissage derrière le départ d'un gros porteur sur une piste croisée si le point de rotation est avant l'intersection.....	29

Chapitre III :

Figure III.1: les suivantes phases de RECAT	32
Figure III.2 : Comparaison de la taille des aéronefs entre l'Airbus A340-600 et le Boeing B767-300	40

Liste des figures

Figure III.3 : comparaison des minimums de séparation applicables à l'A346 et le B763 entre le programme RECAT et l'OACI.....	41
Figure III.4 : Comparaison de la taille des aéronefs entre l'Airbus A320 et l'ERJ-145	42
Figure III.5 : les minimums de séparation applicables à l'A320 et l'ERJ-145 suivant l'A 346 selon l'OACI	42
Figure III.6 : les minimums de séparation applicables à l'A320 et l'ERJ-145 suivant l'A346 selon RECAT.....	43
Chapitre IV :	
Figure IV.1 : Orientation d'ILS.....	46
Figure IV.2 : Trajectoire d'approche d'ILS	46
Figure IV.3 : Le processus d'atterrissage et d'approche finale.....	49
Figure IV.4 : La géométrie de la trajectoire d'ILS : séparation horizontale	49
Figure IV.5 : Diagramme du cas d'ouverture (Arrivées uniquement).....	50
Figure IV.6 : Espacement d'arrivé due au temps d'occupation de piste.....	51
Figure IV.7 : Diagramme du cas de fermeture « seulement les arrivées»	51
Figure IV.8 : La manœuvre d'alignement de départ	52
Figure IV.9 : Manœuvre du roulage au décollage.....	53
Figure IV.10 : Diagramme Temps-Espace pour les opérations de départ	53
Figure IV.11 : Relation entre le temps, distance et l'accélération	53
Figure IV.12 : Effet du temps d'alignement	54
Figure IV.13 : La séparation Départ-Arrivée	55
Figure IV.14 : Les composantes du temps d'occupation de piste.....	58
Chapitre V :	
Figure V.1 : Les segments d'une procédure d'approche.....	60
Figure V.2 : Les procédures NDB, VOR, DME, ILS, pour la piste 27/09.....	61
Figure V.3 : Les procédures VOR, DME, ILS, pour la piste 23/05	62
Figure V.4 : Les diverses sorties de la piste 23/05	67
Figure V.5 : Les diverses sorties de la piste 27/09	70
Figure V.6 : Le diagramme Arrivées-Départs (Atterrissage RWY 23, Décollage RWY 27) .	71
Figure V.7 : Le Diagramme Arrivées-Départs (Atterrissage RWY 09, Décollage RWY 05).	72

Liste des tableaux :

Chapitre I :

Tableau I.1: Les obstacles d'aérodrome d'Alger pour l'aire d'approche	04
Tableau I.2 : Les obstacles d'aérodrome d'Alger pour les aires de manœuvres	04
Tableau I.3: Le système de guidage et de contrôle des mouvements à la surface et balisage .	05
Tableau I.4 : Les instruments de radionavigation de l'aérodrome d'Alger	06
Tableau I.5 : Les statistiques des trafics passagers de l'aéroport d'Alger	07
Tableau I.6 : Trafic passagers aéroport d'Alger année 2014.....	08
Tableau I.7: Nombres des mouvements des avions pour l'aéroport d'Alger « année 2014» .	09
Tableau I.8 : Les données du trafic du mois de pointe 2013 et 2014	10
Tableau I.9 : Trafic fret et postes « aéroport d'Alger année 2014	10
Tableau I.10 : les caractéristiques physiques des pistes	11
Tableau I.11 : Les distances déclarées des pistes de l'aéroport d'Alger	12
Tableau I.12 : Code de référence d'aérodrome	15

Chapitre III :

Tableau III.1 : les types d'aéronefs utilisés dans RECAT.....	36
Tableau III.2 : classement des aéronefs selon RECAT d'après EUROCONTROLE	36
Tableau III.3: les minimums de séparation selon l'OACI en approche	37
Tableau III.4 : les minimums de séparation selon RECAT en approche	37
Tableau III.5 : les minimums de séparation au départ selon RECAT	38
Tableau III.6 : La différence entre les minimums de séparation de la turbulence de sillage en approche de la référence OACI et la référence RECAT	38
Tableau III.7 : La différence dans les minimums de séparation de la turbulence de sillage au départ entre la référence de l'OACI et RECAT	39

Chapitre V :

Tableau V.1 : liste des valeurs des vitesses d'approche selon chaque type d'avion	63
Tableau V.2 : Le pourcentage de chaque catégorie d'aeronef.....	63
Tableau V.3 : La matrice de probabilité P_{ij}	64
Tableau V.4 : Les vitesses d'approche moyennes pour chaque catégorie	64
Tableau V.5 : Les intervalles entre deux aéronefs (en secondes) pour tous les cas (Atterrissage RWY 09, Décollage RWY 05)	65
Tableau V.6 : Les intervalles entre deux aéronefs avec le buffer (en secondes) pour tous les cas (Atterrissage RWY 09, Décollage RWY 05)	65
Tableau V.7: Les intervalles entre deux aéronefs (en secondes) pour tous les cas (Atterrissage RWY 23, Décollage RWY 27).....	66
Tableau V.8 : Les intervalles entre deux aéronefs avec le buffer (en secondes) pour tous les cas (Atterrissage RWY 23, Décollage RWY 27)	66
Tableau V.9 : Le temps d'occupation de la piste 23/05	69
Tableau V.10 : Le nombre des départs entre les arrivées pour « Décollage RWY 27 »	69
Tableau V.11 : Le temps d'occupation de la piste 27/09	70
Tableau V.12 : Le nombre des départs entre les arrivées pour « Décollage RWY 05 »	71

Liste des tableaux

Tableau V.13 : la capacité des deux pistes de l'aérodrome d'Alger (Atterrissage RWY 23, Décollage RWY 27)	71
Tableau V.14 : La capacité des deux pistes avec atterrissage « RWY 09 », décollage « RWY05 »	72
Tableau V.15 : Liste des vitesses d'approche selon les catégories de l'OACI	73
Tableau V.16 : Les vitesses d'approche moyennes de chaque catégorie	74
Tableau V.17 : La capacité des deux pistes « atterrissage piste 23 », « décollage piste27».	74
Tableau V.18 : La capacité des deux pistes « atterrissage piste 09 », «décollage piste 05»	74
Tableau V.19 : Comparaison entre la capacité avec 3 et 6 catégories « atterrissage piste23 », « décollage « piste27 »	74
Tableau V.20 : Comparaison entre la capacité avec 3 et 6 catégories « atterrissage piste 09 », « décollage « piste05 »	75

Liste des annexes :

Annexe A : La méthode des trois segments pour le calcul du TOP.

Annexe B : les segments d'une procédure d'approche.

Résumé :

La capacité aéroportuaire est le nombre des demandes qui peut être traité pendant une période donnée par un ensemble d'installations aéroportuaires.

Cette capacité est liée souvent directement aux séparations minimales entre les aéronefs à l'arrivée et au départ.

Pour cela l'OACI classe les aéronefs dans 4 catégories selon leur masse maximale au décollage et fixe en fonction de ces catégories la distance qui doit séparer les aéronefs.

Pour le même objectif la FAA et EUROCONTROL en 2005, ont conjointement lancé le projet « RECAT », qui est divisé en 3 phases.

Ce mémoire de fin d'études porte sur le calcul de la capacité des deux pistes de l'aéroport d'Alger avec l'application de la – phase 1- de RECAT qui classe les aéronefs dans 6 catégories selon leur poids, la vitesse d'approche et leur envergure.

Mots- clés :

RECAT - Capacité - Séparation minimale.

Abstract:

Airport capacity is the number of requests that can be processed during a given period by a set of airport facilities.

This capacity is often directly related to the minimum separations between aircraft on arrival and departure.

For this purpose, the ICAO classes aircraft in 4 categories according to their maximum takeoff weight and fixes the distance that must separate aircraft according to these categories.

For the same purpose, the FAA and EUROCONTROL in 2005, jointly launched the project "RECAT" which is divided into 3 phases.

This dissertation is about calculating the capacity of the two runways of the airport of Algiers with the application of the - Phase 1 - of RECAT which classify aircraft in 6 categories according to their weight, approach speed and scope.

Keywords:

RECAT – capacity - Minimum separation.

ملخص :

الطاقة الاستيعابية للمطار هي عدد الطائرات التي يمكن معالجتها خلال فترة معينة من قبل مجموعة من مرافق المطار.

هذه الطاقة الاستيعابية مرتبطة ارتباطا مباشرا بالحد الأدنى للفصل بين الطائرات عند الوصول والمغادرة. لذلك منظمة الطيران المدني الدولي تصنف الطائرات إلى أربعة فئات وفقا للحد الأقصى للوزن عند إقلاعها و تحدد وفقا لهذه الفئات المسافة التي يجب أن تفصل بين الطائرات.

لنفس الغرض في عام 2005 اشتركت « إدارة الطيران الفيدرالية » و« أورو كنترول » و أطلقوا مشروع إعادة التصنيف "RECAT" الذي ينقسم إلى 3 مراحل.

هذه المذكرة خاصة بحساب قدرة الطاقة الاستيعابية لمدرج مطار الجزائر مع تطبيق المرحلة الأولى لمشروع إعادة التصنيف التي تصنف الطائرات إلى ستة فئات وفقا لوزنها، وسرعة الاقتراب و اتساعها.

الكلمات المفتاحية:

إعادة التصنيف «RECAT» - الطاقة الاستيعابية - الحد الأدنى للفصل بين الطائرات.

Introduction générale :

La demande de la capacité aéroportuaire augmente chaque année. Une des principales contraintes de la capacité est la piste, qui ne peut accepter qu'un nombre limité de vols par unité de temps.

Cette capacité est souvent directement liée aux séparations minimales entre les aéronefs à l'arrivée et au départ. La séparation minimale entre deux aéronefs fait partie des services de navigation aérienne-Gestion du trafic aérien (PANS-ATM, Doc 4444) de l'OACI et tient compte de critères de séparation concernant la turbulence de sillage.

Le dernier amendement, concernant les Procédures pour les services de la navigation aérienne/Gestion du Trafic Aérien (PANS/ATM, Doc4444), intitulé « Catégories de turbulence de sillage et minimums de séparation » a été approuvé le 19/03/1990 et appliqué le 14/11/1991 par l'OACI.

La turbulence de sillage a ainsi été classée en 3 catégories, uniquement selon le poids maximum certifié au décollage des aéronefs : Lourds (Heavy), Moyens (Medium) et Petits (Small). Mais aussi afin d'augmenter le débit des pistes, certains États ou régions utilisent des catégories de turbulence de sillage légèrement modifiées plutôt que celles qui sont prescrites dans les PANS-ATM.

Ces dernières années, les connaissances sur le comportement de la turbulence de sillage et sur la résistance des aéronefs à ce phénomène en environnement opérationnel ont augmenté grâce, d'une part, à des données mesurées et à une meilleure compréhension des processus physiques d'atténuation des tourbillons et, d'autre part, à diverses campagnes d'essais de rencontre de turbulence de sillage en vol et en simulateur. Il a été confirmé de manière claire que la masse est un paramètre important pour la détermination de séparations sûres, mais il n'est pas le seul, ce qui fait de l'attribution de catégories de masse aux aéronefs un problème.

En 2002, des initiatives pour des recherches concernant la turbulence de sillage ont été lancées, notamment par l'OACI, EUROCONTROL et la FAA ; ainsi que d'autres partenaires. Ces recherches ont montré que la turbulence de sillage se développe derrière un aéronef en vol. Dans certains cas, la turbulence de sillage peut être dangereuse aux aéronefs plus légers derrière ou en-dessous d'un aéronef plus lourd.

C'est principalement pour ces raisons qu'il a été jugé pertinent de réexaminer les minimums établis par l'OACI pour la séparation des aéronefs en fonction de la turbulence de sillage et qu'un projet conjoint FAA-EUROCONTROL a été lancé en 2005.

Ce projet est la Redéfinition Des Catégories Établies Par L'OACI Pour Tenir Compte De La Turbulence De Sillage (RECAT).

« RECAT » comprend trois phases :

1. première phase (RECAT-1) : optimisation des classes de séparation en fonction de la turbulence de sillage établies par l'OACI, dont le nombre passe à six ;
2. deuxième phase (RECAT-2) : remplacement des classes de séparation par un régime « par paires » statique, dans lequel chaque paire d'aéronefs correspond à un minimum de séparation en fonction de la turbulence de sillage approprié ;

3. troisième phase (RECAT-3) : séparation par paires dynamique, dans le cadre de laquelle les minimums de séparation tiennent également compte des conditions réelles, telles que la masse de l'avion et les éléments atmosphériques/ météorologiques.

Dans notre mémoire nous allons nous intéresser seulement par RECAT-1.

Les diverses études, après division des avions lourds et moyens en 2 catégories chacun, ont résulté en 6 catégories basées sur **le poids, la vitesse d'approche et les caractéristiques de l'envergure des aéronefs**. Ces catégories sont classées de A à F, la catégorie A inclue les très lourds aéronefs (A380, AN224) et la catégorie F inclue les petits aéronefs (ex : Cessna Citation, Embraer 120).

Ces nouvelles catégories permettent la réduction des séparations au décollage et en approche, augmentant ainsi la capacité des pistes grâce à un flux de trafic plus dense, diminuant les consommations de carburant et réduisant l'impact des aéronefs sur l'environnement ; aussi l'élimination des files d'attente en départ et à l'extrémité de piste et donc l'atténuation des retards.

Le 14 novembre 2014, l'aéroport Charles de Gaulle en France est le premier aéroport en Europe à mettre en œuvre ces nouvelles catégories après l'aéroport de Memphis aux Etats Unis le 2 novembre 2012. Depuis le 19 janvier 2015, l'aéroport de Dubaï implante RECAT, après les grandes plateformes aéroportuaires telles que Heathrow et Frankfort.

Nous allons appliquer ces nouvelles catégories aux procédures des 2 pistes de l'aérodrome d'Alger/Houari Boumediène, utilisant le radar et les aides à l'approche, à l'atterrissage et au décollage, afin de déterminer les capacités des pistes.

I.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter l'aéroport d'Alger/Houari Boumédiène. Nous exposerons notamment la configuration de l'aéroport, le trafic aérien de l'aérodrome ainsi que l'implantation des aides à la navigation, le balisage et les différentes infrastructures de l'aéroport.

I.2 Présentation de l'aéroport :

L'aéroport d'Alger/Houari Boumédiène, est un aéroport civil international créé en 1924, situé sur la commune de Dar El Beida à 16 km à l'est d'Alger. L'aéroport est géré par la Société de gestion des services et infrastructures aéroportuaires (SGSIA), filiale de l'EGSA Alger.

Il est le plus important de tous les aéroports algériens. Sa capacité actuelle est d'environ 12 millions de passagers par an. L'aéroport d'Alger a été classé le 4ème meilleur aéroport africain en 2014.



Figure I.1 : Maquette de l'aéroport d'Alger avec la future aérogare*

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

- ❖ Nom de l'aérodrome : ALGER / Houari Boumédiène
- ❖ Code IATA : ALG
- ❖ Code OACI : DAAG
- ❖ Pays : Algérie
- ❖ Ville desservie : Alger
- ❖ Type d'aéroport : civil
- ❖ Gestionnaire : EGSA
- ❖ Altitude : 25m
- ❖ Température : 30,6°C

* Aéroport d'Alger Houari Boumediene, Accès, [en ligne]:

<https://www.google.dz/search?q=Maquette+de+l%E2%80%99a%C3%A9roport+d%E2%80%99Alger+avec+la+future+a%C3%A9rogare>.

** SIA Algérie. AIP Algérie. Partie aérodrome. 20 Mars 2014.

Chapitre I : présentation de l'aéroport d'Alger / Houari Boumédiène

- ❖ 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^E, Intersection des TWY : B4, B5, A4 et A5.
- ❖ Catégorie de l'aérodrome pour la lutte contre l'incendie : CAT 9.

I.2.1 Les obstacles de l'aérodrome :

Aire d'approche et de décollage				
PISTE ou Aire concernée	Type d'obstacle	Hauteur	Marquage et balisage lumineux	Coordonnées
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 I.1: Les obstacles d'aérodrome d'Alger pour l'aire d'approche*

Aires de manœuvres à vue et aérodrome			
Type d'obstacle	Hauteur	Marque et balisage lumineux	Coordonnées
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 I.2 : Les obstacles d'aérodrome d'Alger pour les aires de manœuvres *

Note : Le radar d'Alger est situé à 3,5 Km de l'aéroport. Le taux de rotation de l'antenne est de 10 tours/minute.

* SIA Algérie. AIP Algérie. Partie aérodrome. 20 Mars 2014.

I.2.2 les parties principales de l'aéroport d'Alger :

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

A) L'aérogare

- ❖ Aérogare des passagers
 - Aérogare domestique (nationale) ;
 - Aérogare internationale ;
 - Aérogare vols pèlerinage et charters.
- ❖ Aérogare de fret

B) L'aérodrome

- ❖ Aire de mouvement
 - Aire de trafic
 - Aire de manœuvre
- ❖ 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 I.3 : Le système de guidage et de contrôle des mouvements à la surface et balisage*

* SIA Algérie. AIP Algérie. Partie aérodrome. 20 Mars 2014.

- Les instruments de radionavigation

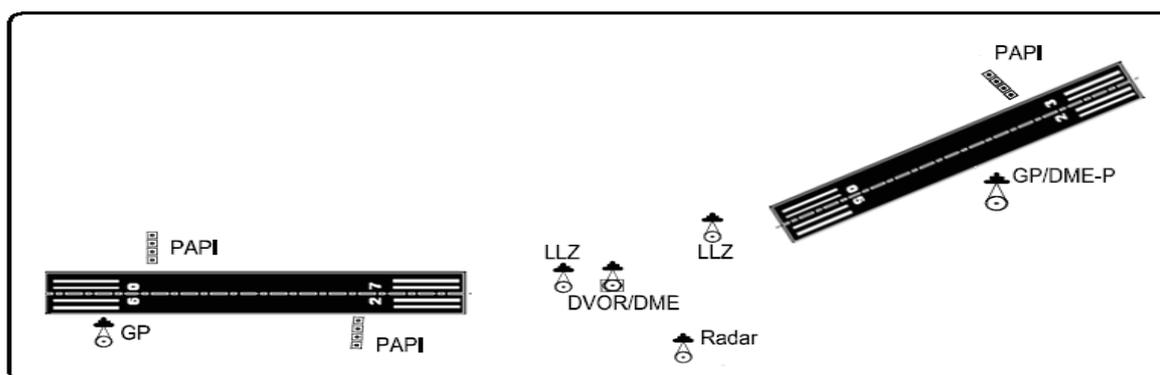


Figure I.2: Les instruments de radionavigation des deux pistes de l'aérodrome d'Alger*

Type d'aide	Identification	Fréquence
DVOR/DME	ALR	112.5 MHZ
DVOR/DME	ZEM	116.6 MHZ
DVOR/DME	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 I.4 : Les instruments de radionavigation de l'aérodrome d'Alger**

- Les instruments de météorologie

C) 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.

* Kaid Samir et Merabet Sofiane. Etude et évaluation de la capacité piste pour l'aérodrome Houari Boumediène d'Alger (Page 70).

** SIA Algérie. AIP Algérie. Partie aérodrome. 20 Mars 2014.

D) 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, ...)

I.3 Statistiques de l'aéroport d'Alger :

I.3.1 Trafic Passagers de l'aérodrome d'Alger (1995-2014) :

Alger : Année	Trafic National Passagers	Trafic International Passagers	Total Trafic Passagers
1 995	2 024 935	1 067 929	3 092 864
1 996	1 899 174	1 099 226	2 998 400
1 997	2 012 895	1 147 910	3 160 805
1 998	1 590 705	1 071 927	2 662 632
1 999	1 381 837	1 205 183	2 587 020
2 000	1 406 498	1 370 610	2 777 108
2 001	1 786 393	1 518 883	3 305 276
2 002	2 517 927	1 776 966	4 294 893
2 003	1 820 135	1 820 135	3 640 270
2 004	1 365 777	1 966 801	3 332 578
2 005	1 321 340	2 082 113	3 403 453
2 006	1 329 635	2 160 024	3 489 659
2 007	1 386 708	2 427 847	3 814 555
2 008	1 543 101	2 616 257	4 159 358
2 009	1 639 849	2 907 859	4 547 708
2 010	1 423 783	3 017 143	4 440 926
2 011	1 440 798	3 352 374	4 793 172
2 012	1 579 164	3 825 807	5 404 971
2 013	1 702 490	4 232 658	5 919 685
2 014	1 742 058	4 733 039	6 475 097

Tableau I.5 : Les statistiques des trafics passagers de l'aéroport d'Alger**

* SIA Algérie. AIP Algérie. Partie aérodrome. 20 Mars 2014.

** Source : Document donné par SGSIA.

➤ **Modélisation :**

Sur une feuille de calcul Excel, nous avons modélisé la série des données du trafic de passagers de l'aéroport d'Alger :

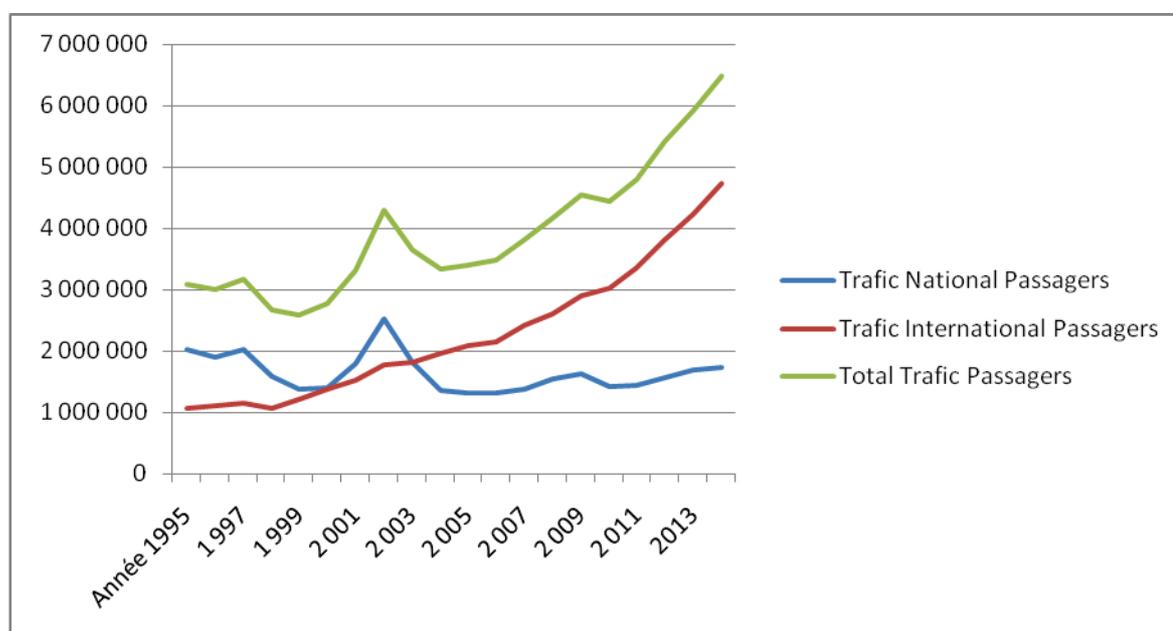


Figure I.3: Trafics passagers de l'aérodrome d'Alger 1995-2014*

I.3.2 Les statistiques mensuelles des trafics passagers pour l'année 2014:

Aéroport d'Alger	National	International	Total
Janvier	141 161	364 906	506 067
Février	129 088	314 609	443 697
Mars	156 734	387 612	544 346
Avril	145 411	390 908	536 319
Mai	153 472	384 608	538 080
Juin	153 611	417 540	571 151
Juillet	114 265	387 084	501 349
Aout	154 785	562 964	717 749
Septembre	144 771	446 861	591 632
Octobre	145 243	390 244	535 487
Novembre	144 108	315 290	459 398
Décembre	159 409	370 413	529 822
Total	1 742 058	4 733 039	6 475 097

Tableau I.6 : Trafic passagers aéroport d'Alger année 2014**

* Élaboré par nos soins.

** Source : Document donné par SGSIA.

I.3.3 Les statistiques mensuelles des avions (année 2014):

Aéroport d'Alger	National	International	Total
Janvier	2 570	3 490	6 060
Février	2 375	3 244	5 619
Mars	2 625	3 650	6 275
Avril	2 556	3 801	6 357
Mai	2 611	3 892	6 503
Juin	2 596	3 924	6 520
Juillet	2 618	4 046	6 664
Aout	2 811	4 337	7 148
Septembre	2 706	3 941	6 647
Octobre	2 649	3 888	6 537
Novembre	2 599	3 451	6 050
Décembre	2 728	3 656	6 384
Total	31 444	45 320	76 764

Tableau I.7: Nombres des mouvements des avions pour l'aéroport d'Alger « année 2014 »*

Le trafic en 2014 de l'aérodrome d'Alger représente 40% du trafic de l'ensemble des aérodromes ouverts à la circulation aérienne publique, alors qu'en 2013 il était de 39,4%.

➤ **Modélisation :**

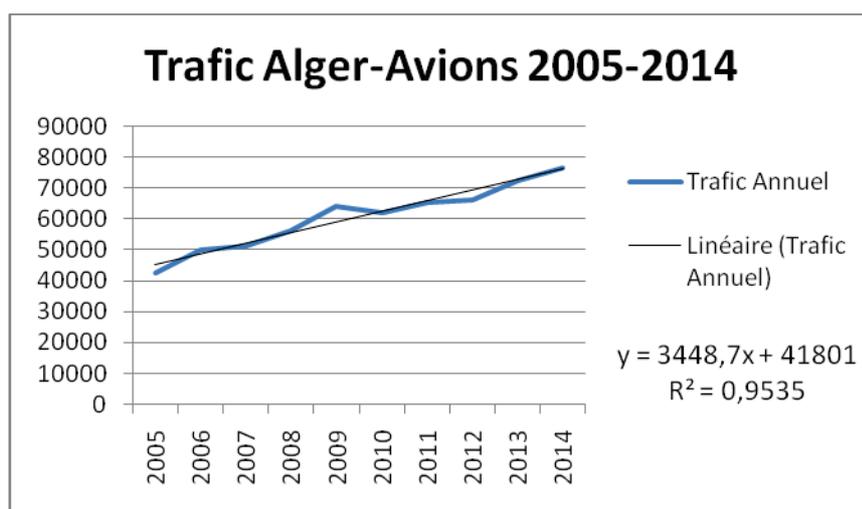


Figure I.4 : Trafic 2005-2014 à l'aéroport d'Alger**

Note : Le coefficient de détermination (R^2) est calculé pour évaluer la précision de la ligne de régression. Dans le cas du trafic 2005-2014 ci-dessus, la prévision de la ligne de régression est de 95,35%.

* Source : Document donné par SGSIA.

** Élaboré par nos soins.

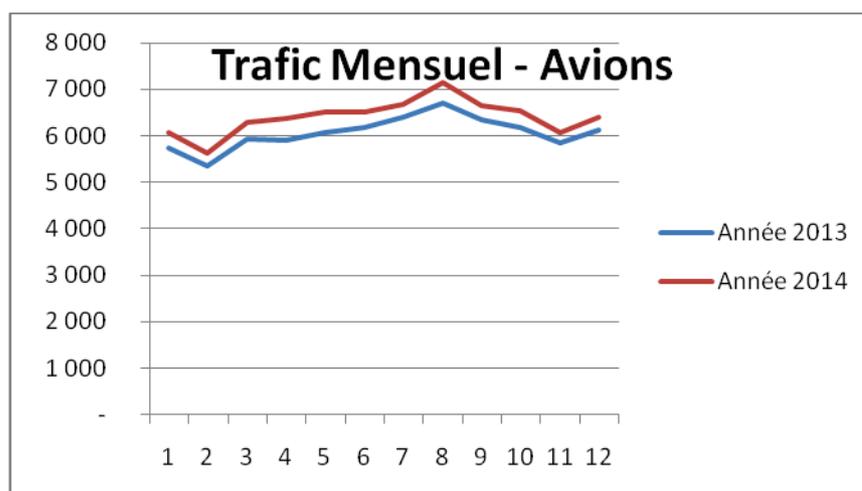


Figure I.5: Trafic mensuels 2013 et 2014*

Remarque : Noter le parallélisme entre les 2 courbes du trafic mensuel des années 2013 et 2014.

I.3.4 Les données des pics de trafic du mois de pointe 2013 et 2014 sont :

	Nombre d'Avions	% du mois de pointe	Jour moyen
Août 2013	6697	9.21	216
Août 2014	7148	9.31	231

Tableau I.8 : Les données du trafic du mois de pointe 2013 et 2014**

I.3.5 Les statistiques mensuelles pour le trafic fret et poste :

Aéroport D'Alger	National	International	Total
Janvier	99,63	2 163,25	2 262,88
Février	112,41	2 364,27	2 476,68
Mars	110,60	3 194,30	3 304,90
Avril	96,05	3 674,88	3 770,93
Mai	137,04	3 254,88	3 391,92
Juin	119,23	3 465,55	3 584,78
Juillet	96,56	2 915,52	3 012,08
Aout	95,10	2 201,71	2 296,81
Septembre	118,98	2 314,94	2 433,92
Octobre	101,37	2 837,44	2 938,81
Novembre	96,67	3 252,04	3 348,71
Décembre	112,45	3 661,95	3 774,40
Total	1 296,09	35 300,73	36 596,82

Tableau I.9 : Trafic fret et postes « aéroport d'Alger année 2014 »**

* Élaboré par nos soins.

** Source : Document donné par SGSIA.

I.4 Infrastructures de l'aéroport :

I.4.1 Les pistes :

L'aéroport dispose de deux pistes d'une longueur de 3 500 m; la première en béton bitumineux, la deuxième en asphalte.

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 I.10 : les caractéristiques physiques des pistes*

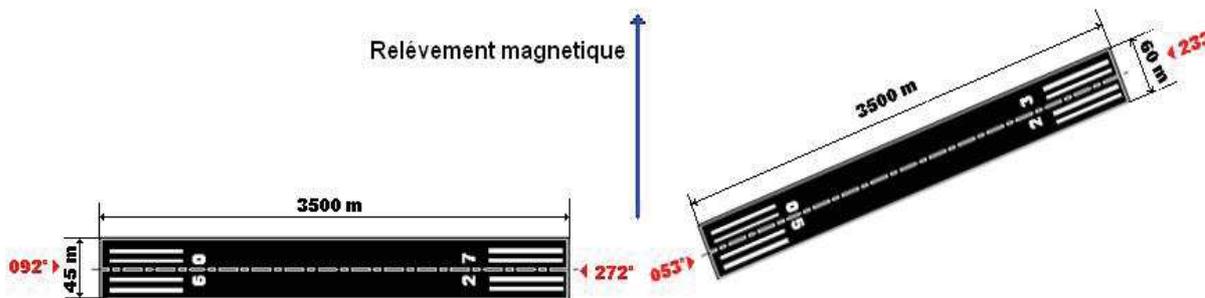


Figure I.6: Les deux pistes de l'aérodrome d'Alger**

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 .

* SIA Algérie. AIP restreint Algérie. Partie aérodrome. 20 Mars 2014.

** Kaid Samir et Merabet Sofiane. Etude et évaluation de la capacité piste pour l'aérodrome Houari Boumédiène d'Alger (Page 69).

❖ 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) :**

C'est une partie de terrain, coaxiale à la piste, adjacente à l'une de ses extrémités, et dans le cas de l'aérodrome d'Alger les prolongements dégagés sont tous nuls. (Tableau I.11)

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 I.11 : Les distances déclarées des pistes de l'aéroport d'Alger *

D'après les définitions suivantes :

- **Piste classique :** c'est une piste dépourvue de tout prolongement**.

$$\text{TORA}=\text{TODA}=\text{ASDA}$$

- **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.

I.4.2 Les aérogares :

L'aérogare est le maillon du système aéroportuaire qui permet (au trafic de passagers, de bagages ou de fret) d'effectuer les formalités nécessaires pour passer dans des (conditions satisfaisantes de qualité de service) d'un mode de transport terrestre à un mode de transport aérien et vice-versa.

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.

* SIA Algérie. AIP Algérie. Partie aérodrome. 20 Mars 2014.

Une construction d'une nouvelle aérogare internationale d'une superficie de 73 hectares est conçue pour permettre l'accueil de 10 millions de passagers supplémentaires par an et sera capable d'accueillir les avions de type Airbus A380. Une nouvelle tour de contrôle est également en construction.

A) L'aérogare internationale :

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



Figure I.7: L'aérogare internationale d'Alger*

B) L'aérogare domestique :

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.

C) 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.

I.4.3 Le type de l'aérogare :

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

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

* Aéroport d'Alger Houari Boumediene, Accès, [en ligne]:
<https://www.google.dz/search?q=L'aérogare+internationale+d'Alger>

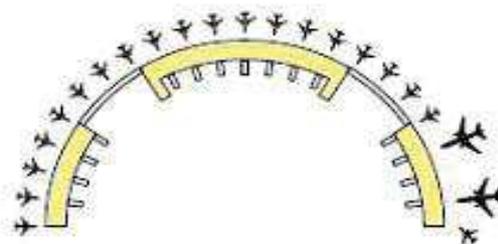


Figure I.8: Le type de l'aérogare d'Alger*

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

I.4.4 Autres installations :

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 des 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.

I.5 Code de référence de l'aérodrome d'Alger :

Un code de référence d'aérodrome — chiffre et lettre de code — choisi à des fins de planification d'aérodrome sera déterminé conformément aux caractéristiques des avions auxquels une installation d'aérodrome est destinée**.

* Kaid Samir et Merabet Sofiane. Etude et évaluation de la capacité piste pour l'aérodrome Houari Boumediène d'Alger (Page 66).

** OACI. Annexe 14 : Aéroports. Volume I : Conception et exploitation technique des aéroports. Sixième édition Juillet 2013 (Page 35).

Chapitre I : présentation de l'aéroport d'Alger / Houari Boumediène

Les chiffres et les lettres du code de référence d'aérodrome auront les significations indiquées au Tableau suivant :

Élément de code 1		Élément de code 2		
Chiffre de code	Distance de référence de l'avion	Lettre de code	Envergure	Longueur hors tout du train principal « * »
1	Moins de 800 m	A	Moins de 15 m	Moins de 4.5 m
2	De 800 m à 1200 m exclus	B	De 15 m à 24 m exclus	De 4.5 m à 6 m exclus
3	De 1200 m à 1800 m exclus	C	De 24 m à 36 m exclus	De 6 m à 9 m exclus
4	1800 m et plus	D	De 36 m à 52 m exclus	De 9 m à 14 m exclus
		E	De 52 m à 65 m exclus	De 9 m à 14 m exclus
		F	De 65 m à 80 m exclus	De 14 m à 16 m exclus

Tableau I.12 : Code de référence d'aérodrome*

L'avion critique de l'aéroport Houari Boumediène est le Boeing B747/400 avec une distance de référence de 3200 mètre et une envergure de 64.44 mètre, et une largeur hors tout du train principal de 11 mètre donc le code de référence de l'aérodrome d'Alger est le 4E.

I.6 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.

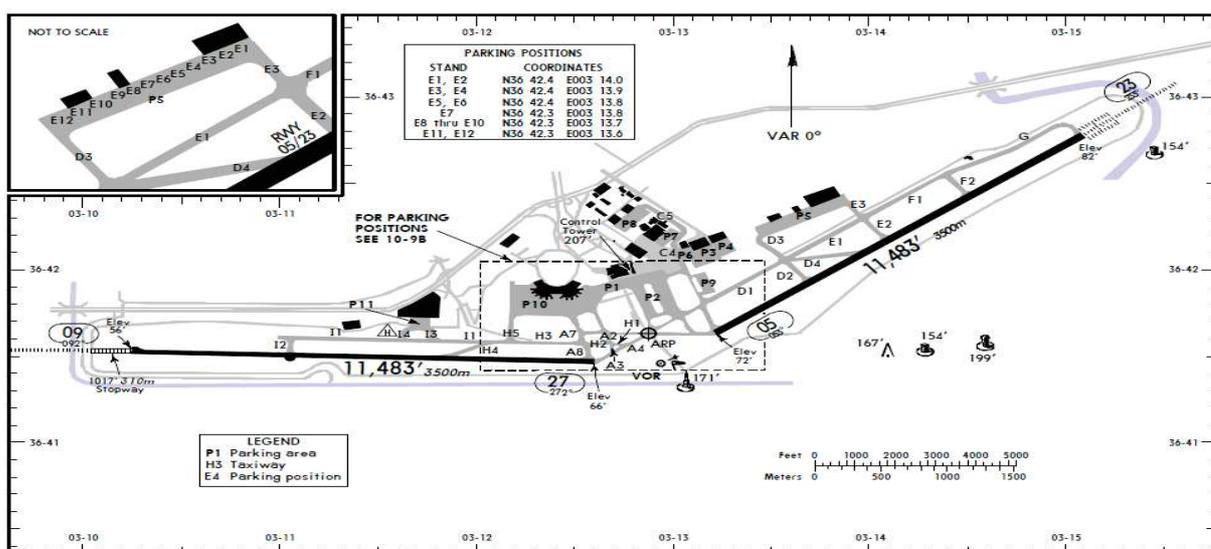


Figure I.9: Carte de l'aéroport d'Alger**

* OACI. Annexe 14 : Aéroports. Volume I : Conception et exploitation technique des aéroports. Sixième édition Juillet 2013 (Page 35).

** SIA Algérie. AIP Algérie. Partie aérodrome. 20 Mars 2014.

I.7 Utilisation du Radar et de l'ILS

I.7.1 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 séquençement (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.

1.7.2 ILS :

En 1949, l'OACI a adopté l'ILS comme aide normalisée à l'approche et à l'atterrissage de précision, bien que les tests ont été initiés en 1929 et que le premier atterrissage d'un avion, avec passagers utilisant uniquement l'ILS, s'est posé le 26 janvier 1938 à l'aérodrome de Pittsburgh (USA).

Depuis, l'ILS a été amélioré pour répondre aux besoins de fiabilité et de précision. Malgré une ancienneté de 65 ans depuis l'adoption par l'OACI, l'ILS est encore opérationnel à travers le monde, comme exemple l'acquisition en 2014 en Algérie par l'ENNA de 20 ILS (16 pour les aérodromes internationaux, 4 pour les aérodromes nationaux). L'aérodrome d'Alger dispose actuellement de 2 ILS et est équipé de balisages lumineux et de RVR (portée visuelle de piste) pour la visibilité à l'atterrissage et au décollage.

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.

I.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'aéroport qui a fait l'objet de notre étude, ainsi que les dernières statistiques pour mieux calculer sa capacité.

II.1 Introduction :

Chaque aéronef en vol génère des tourbillons de sillage. Ces perturbations sont occasionnées par des paires de tourbillons contrarotatifs traînant des extrémités des ailes en vol de croisière ainsi que du bord extérieur des volets en approche et à l'atterrissage, posant ainsi un danger aux aéronefs rencontrés. Par exemple, le sillage d'un gros aéronef peut engendrer un moment de roulis (inclinaison sur l'axe longitudinal de l'aéronef) qui excède le contrôle du roulis d'un aéronef suiveur de taille plus petite. Par ailleurs, la turbulence créée par les tourbillons peut endommager les composants et équipements de l'aéronef, et causer des blessures aux personnes (équipage, passagers). Les pilotes apprennent à envisager la position et les mouvements des tourbillons produits par d'autres aéronefs et, par conséquent, à ajuster leur trajectoire de vol.

Ce chapitre présente les informations de base concernant le comportement des tourbillons de sillage, l'alerte aux pilotes et contrôleurs de la circulation aérienne sur les dangers de la turbulence de sillage des aéronefs, et les procédures opérationnelles d'évitement de ces tourbillons.

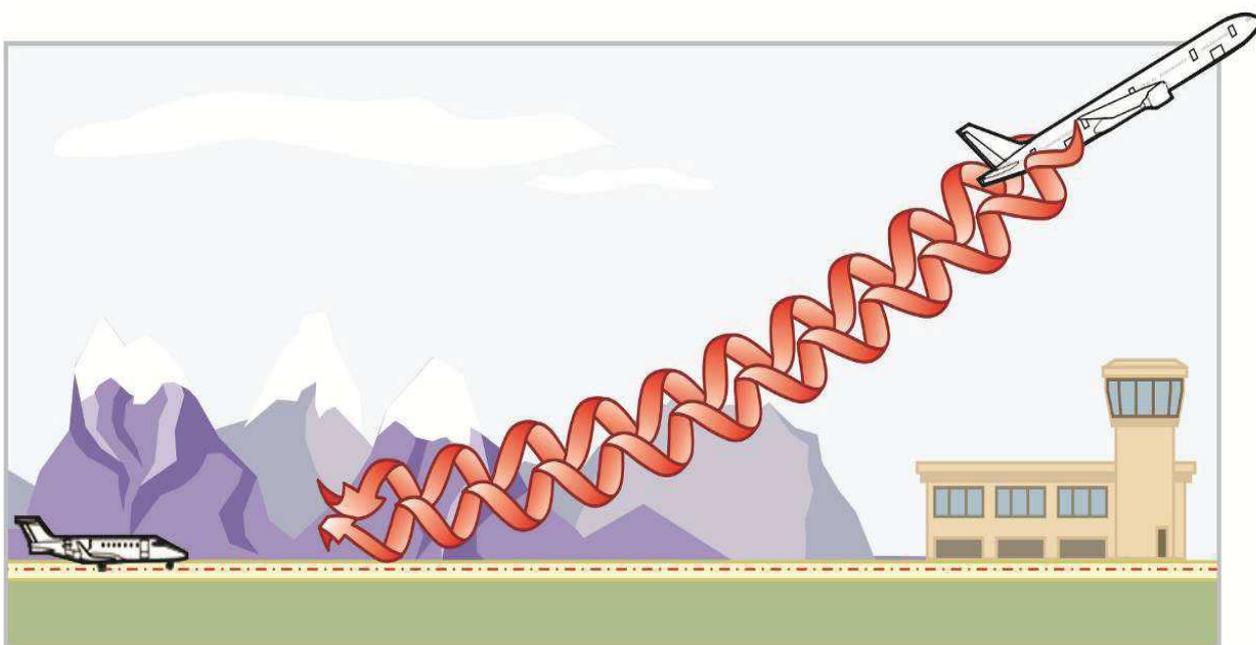


Figure II.1 : Turbulence de sillage des aéronefs *

II.2 Création des tourbillons :

La portance est générée par la création d'une pression différentielle sur les surfaces de l'aile. La basse pression se produit au-dessus de la surface de l'aile et la haute pression sous l'aile. Cette pression différentielle déclenche le roulis de l'écoulement d'air de l'aile, résultant en des masses d'air tourbillonnantes traînant en aval de l'aile. Après le tour complet du roulis, le sillage consiste en deux tourbillons contrarotatifs cylindriques.

* U.S Department of transportation. FAA. (02/10/2014). Aircraft Wake Turbulence (Page 01) .

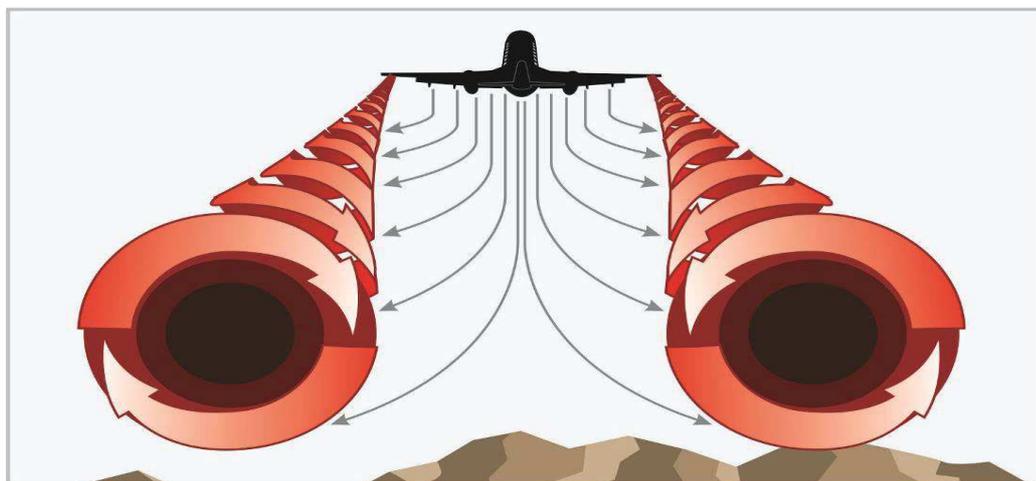


Figure II.2 : Le processus du roulis*

II.3 Force des tourbillons :

II.3.1 En Région de contrôle :

La force des tourbillons est régie par le poids, la vitesse ainsi que la forme et l'envergure de l'aéronef générateur de ces tourbillons. L'extension des volets et autres dispositifs de configuration de l'aile modifient les caractéristiques des tourbillons d'un aéronef. Cependant, comme les facteurs qui varient le plus par phase de vol sont le poids et la vitesse, la force des tourbillons varie proportionnellement avec l'augmentation du poids en exploitation de l'aéronef ou avec la diminution de la vitesse de l'aéronef. Des vitesses de pointe des tourbillons de près de 90 m/seconde ont été enregistrées. La plus grande force des tourbillons se produit lorsque l'aéronef générateur est « lourd- lent- tout entré » puisque la turbulence d'une configuration d'un aéronef « tout sorti » accélère l'affaiblissement du sillage.

II.3.2 En Route :

La densité de l'air est également un facteur dans la force du sillage. Bien que les vitesses soient plus rapides en croisière à haute altitude, la densité réduite de l'air peut résulter d'une force de sillage comparable à celle dans la région de contrôle. De plus, pour une distance d'un espacement donné, les hautes vitesses en croisière résultent à moins de temps pour le sillage de se décomposer avant de rencontrer un autre aéronef.

II.4 Roulis induit :

II.4.1 Capacité du contrôle du roulis :

La plus probable rencontre d'un danger est le moment d'un roulis induit (inclinaison de l'aéronef due à la turbulence de sillage) qui peut dépasser la capacité de contrôle du roulis de l'aéronef concerné. Lors d'expérimentations en vol, des aéronefs ont pénétré intentionnellement derrière le cœur des tourbillons des aéronefs plus grands. Cela a montré que la capacité d'un aéronef à contrer le roulis imposé par la turbulence de sillage dépend principalement de l'envergure et de la réactivité du contrôle de la riposte de l'aéronef rencontré.

* U.S Department of transportation. FAA. (02/10/2014).Aircraft Wake Turbulence (Page 02)

II.4.2 Contrôle de la riposte :

Le contrôle de la riposte est habituellement efficace et le roulis induit est minime au cas où l'envergure et les ailerons de l'aéronef se prolongent au-delà du flux rotatif des tourbillons. Il est plus difficile pour un aéronef avec une envergure courte (relative aux tourbillons de l'avion générateur) de contrer le roulis induit imposé par le flux des tourbillons.

Les pilotes des aéronefs avec une envergure courte, même de type de haute performance, doivent être spécialement alertes envers les rencontres des tourbillons.

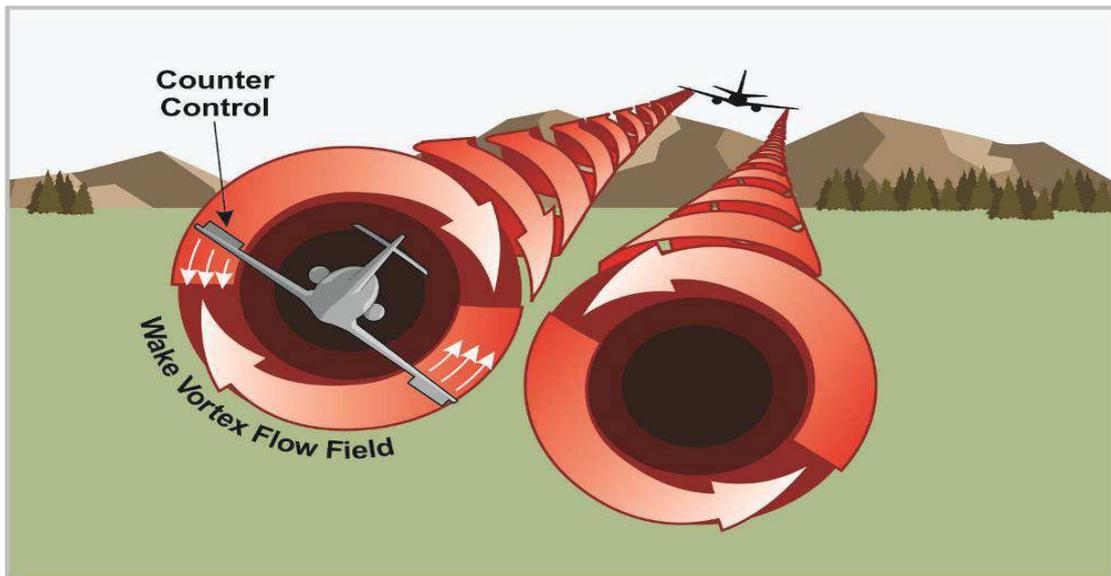


Figure II.3 : Roulis induit*

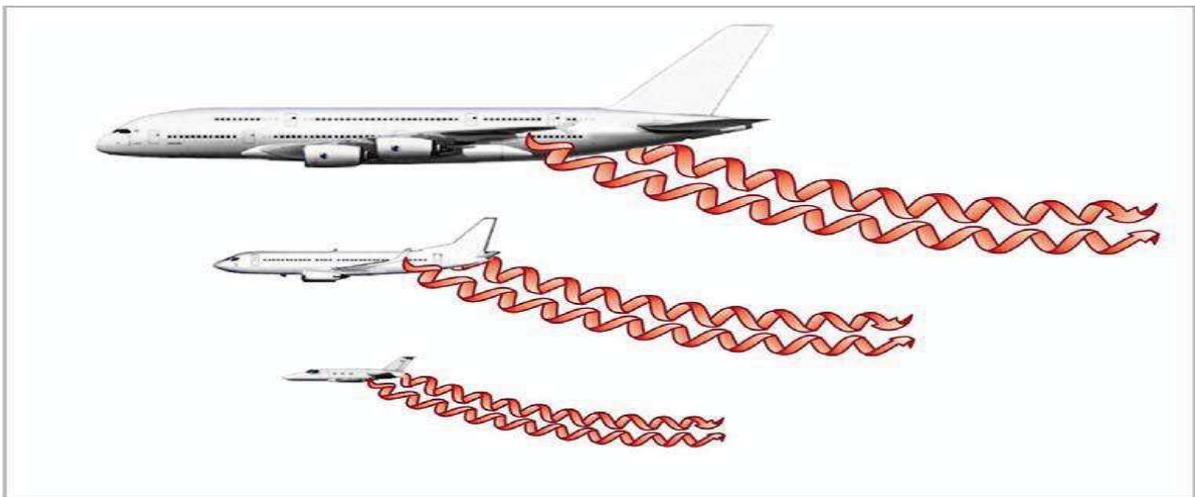


Figure II.4 : Sillage par opposition à la queue de l'aéronef*

* U.S Department of transportation. FAA. (02/10/2014). Aircraft Wake Turbulence (Page 03)

II.5 Caractéristiques de la turbulence de sillage :

Les tourbillons de sillage engendrés par les aéronefs en vol sont liés à la masse brute, à la vitesse et à l'envergure de ces aéronefs.

Ces turbulences ont certaines caractéristiques qui peuvent aider les pilotes à visualiser l'endroit et le mouvement de sillage et à prendre des mesures appropriées pour éviter ces tourbillons.

II.5.1 Génération De Vortex :

La formation de tourbillons commence au moment du cabrage, lorsque les roues avant quittent la piste, et cesse lorsque les roues avant prennent contact avec le sol au moment de l'atterrissage.

La force des tourbillons augmente en proportion de la masse ; et sa valeur est maximale lorsque l'aéronef qui les engendre est un gros-porteur volant à faible vitesse.

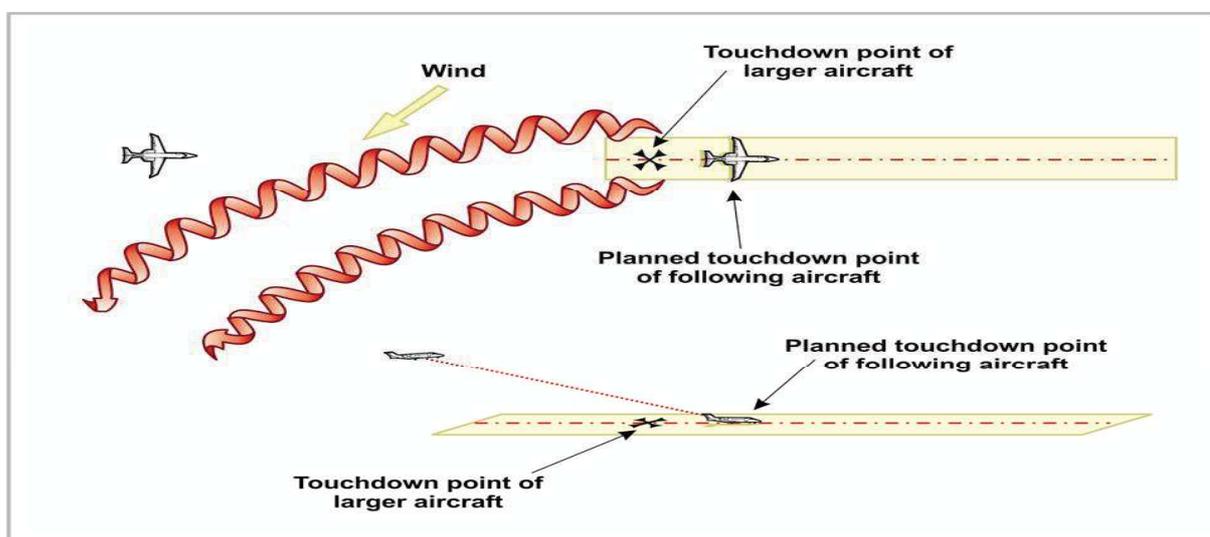


Figure II.5 : Points de touches des roues de précédant et suivant avion*

II.5.2 Circulation De Vortex :

La circulation de vortex est extérieure, ascendante, et autour des bouts d'aile lorsque le vortex est vu soit à partir de l'avant ou de l'arrière de l'avion.

Le vent, le cisaillement du vent, la turbulence et la stabilité atmosphérique influent sur le mouvement et l'affaiblissement d'un système tourbillonnaire.

La proximité du sol influe sensiblement aussi sur ces caractéristiques.

* U.S Department of transportation. FAA. (02/10/2014). Aircraft Wake Turbulence (Page 04)

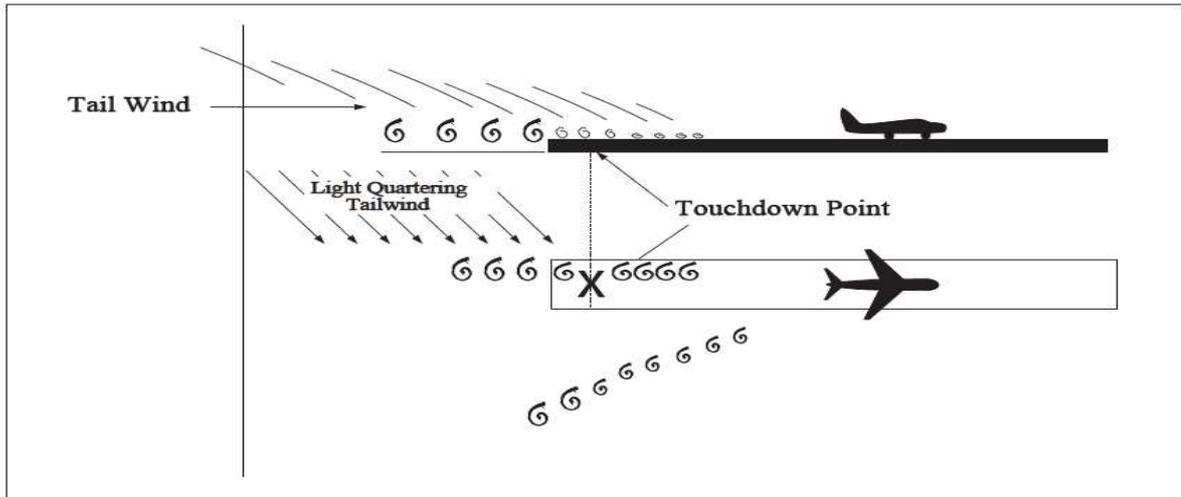


Figure II.6 : Mouvement de vortex en effet de sol – vent arrière*

II.5.3 Mouvement Vertical :

Les essais de vol ont prouvé qu'à une altitude plus élevée les vortex de gros porteur à un taux de plusieurs centaines de pieds par minute (ft/m), ralentissant leur descente et diminuant leurs force avec le temps et la distance derrière l'avion qui génère la turbulence de sillage . La figure 07 montre la descente des tourbillons des gros porteurs.

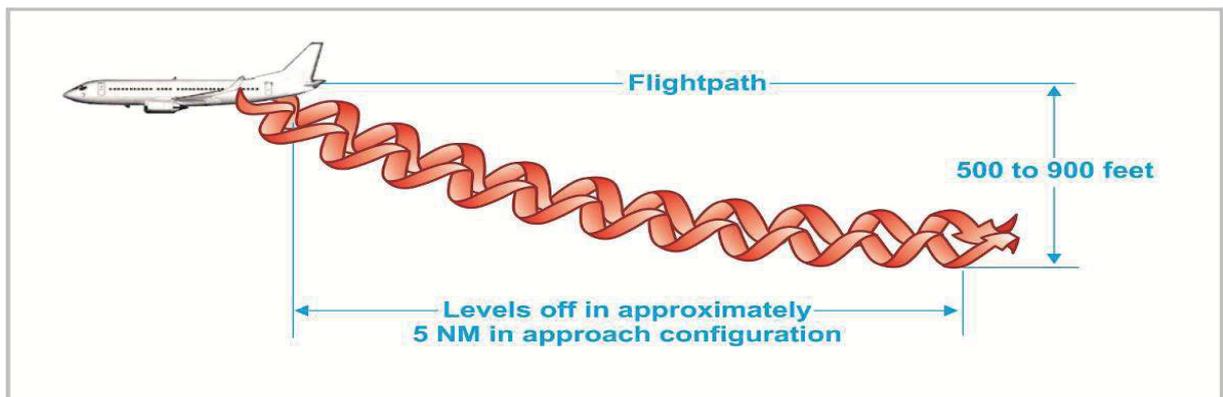


Figure II.7 : Descente du vortex de gros porteur**

II.5.4 Mouvement Latéral :

L'effet de sol joue un rôle important dans le déplacement et l'affaiblissement des tourbillons. Le sol agit comme un plan réfléchissant; à mesure que les tourbillons se rapprochent du sol, leur vitesse verticale diminue, et avec un vent nul ou faible, ils commencent à se déplacer horizontalement au ras du sol en s'écartant l'un de l'autre, à une hauteur approximativement égale à la demi-envergure de l'aéronef qui les engendre.

* U.S Department of transportation. FAA.(08/01/2015).Aeronautical Information Manual (Page 522).

** U.S Department of transportation. FAA. (02/10/2014).Aircraft Wake Turbulence (Page 05).

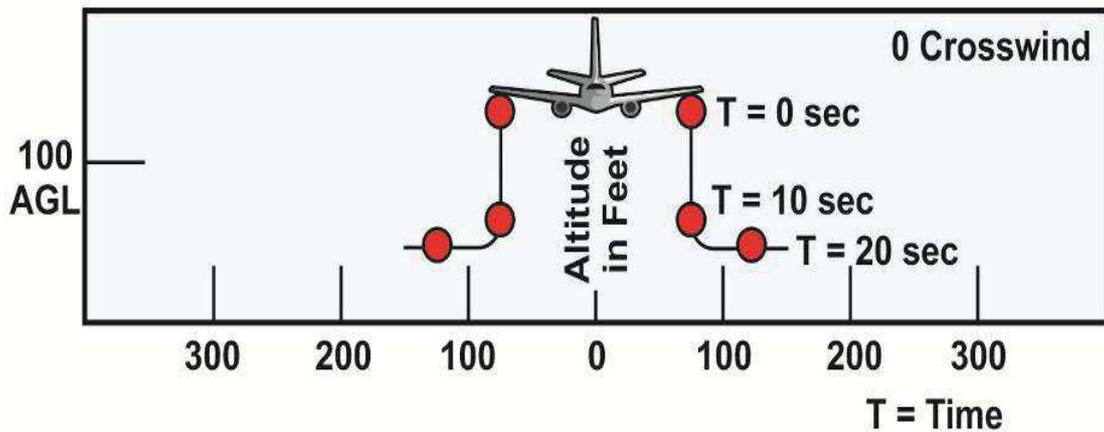


Figure II.8 : Mouvements de vortex des gros porteurs volant à basse altitude *

II.5.5 Vent :

Un vent de travers diminuera le mouvement latéral du tourbillon en amont et augmentera le mouvement du tourbillon en aval de vortex.

Donc il faut redoubler l'attention lorsque le vent est faible, car les tourbillons risquent de persister longtemps dans les zones d'approche et de toucher des roues, et de dériver vers une piste parallèle ou de descendre jusqu'au niveau des trajectoires d'atterrissage ou de décollage des aéronefs qui suivent.

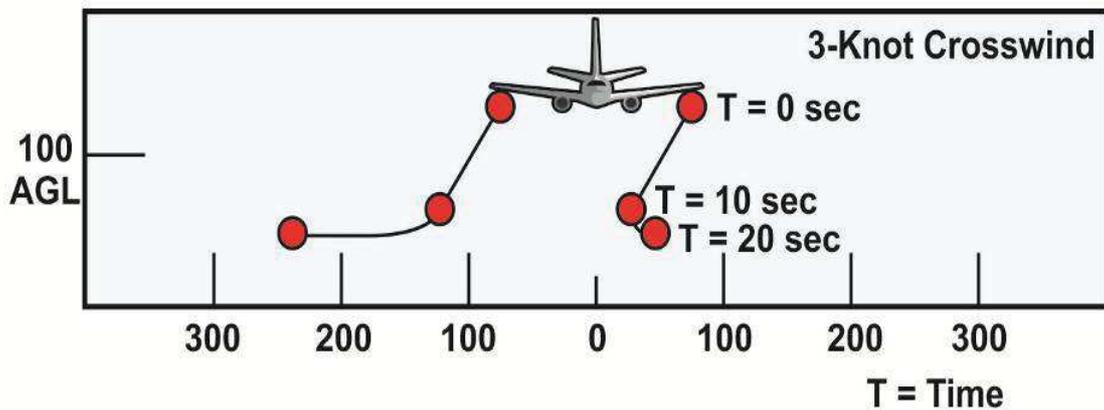


Figure II.9 : Effet de vent de travers de 03 nœuds sur les tourbillons des avions volant à basse altitude *

* U.S Department of transportation. FAA. (02/10/2014). Aircraft Wake Turbulence (Page 05,06)

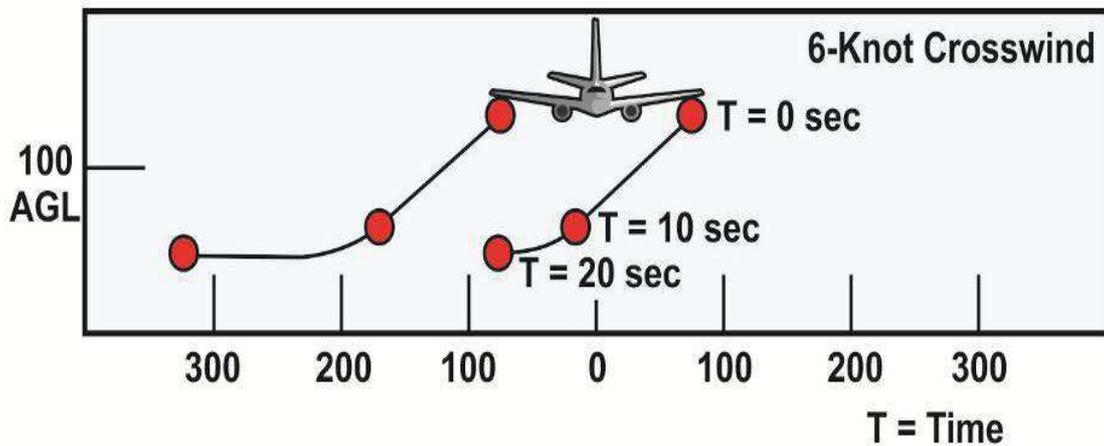


Figure II.10 : Effet de vent de travers de 06 nœuds sur les tourbillons des avions volant à basse altitude*

II.6 Les effets de la turbulence de sillage sur les aéronefs :

Les trois principaux effets que la turbulence de sillage exerce sur l'aéronef qui vient derrière sont : le roulis induit, la perte d'altitude ou la baisse de vitesse et le risque de contraintes sur les structures. Mais le plus grave danger pour un aéronef qui pénètre dans une zone de turbulence est le roulis induit.

Lorsque la turbulence de sillage se rencontre dans la zone d'approche, son effet est accru, car l'aéronef qui suit est alors dans une phase critique en ce qui concerne la vitesse, la poussée, l'altitude et le temps de réaction.

II.7 Le souffle des réacteurs :

Le souffle des réacteurs et des hélices peuvent résulter des vents localisés suffisamment forts pour compromettre la sûreté ou l'existence des autres aéronefs, des véhicules et du personnel qui se trouvent dans la zone touchée.

Lorsque les contrôleurs de la circulation aérienne émettent des autorisations ou des instructions, devraient tenir compte des périls dus au souffle des réacteurs et des hélices, auxquels sont exposés les aéronefs circulant au sol, les aéronefs qui décollent ou atterrissent, surtout en cas d'utilisation de pistes sécantes, ainsi que les véhicules et le personnel qui se trouvent sur l'aérodrome.

II.8 Procédures pour éviter la turbulence de sillage :

II.8.1 Les responsabilités de contrôle de la circulation aérienne (ATC) :

Les contrôleurs de la circulation aérienne appliquent des procédures de séparation de vol aux instruments (IFR) qui comprennent des séparations de turbulence de sillage requis.

Toutefois, si un pilote accepte une autorisation à suivre visuellement un aéronef précédent, le pilote prend en charge la responsabilité de la séparation et la turbulence de sillage à la fois.

Les contrôleurs fourniront également un consultatif d'avertissement de turbulence de sillage aux pilotes appliquant les règles de vol à vue (VFR), avec lesquels ils sont en

* U.S Department of transportation. FAA. (02/10/2014). Aircraft Wake Turbulence (Page 06)

communication dont la turbulence de sillage peut avoir un effet négatif. Ce consultatif comprend la position, l'altitude et la direction de vol du gros avions suivie par la phrase

« ATTENTION – TURBULENCE DE SILLAGE ».

II.8.2 Départ derrière un gros porteur sur la même piste :

Au départ derrière un gros porteur sur la même piste, les pilotes devraient:

- ❖ Notez le point de rotation de l'avion le plus gros et tourner avant ce point.
- ❖ continuer de monter au-dessus de la trajectoire du gros porteur jusqu'à la rotation claire du sillage.

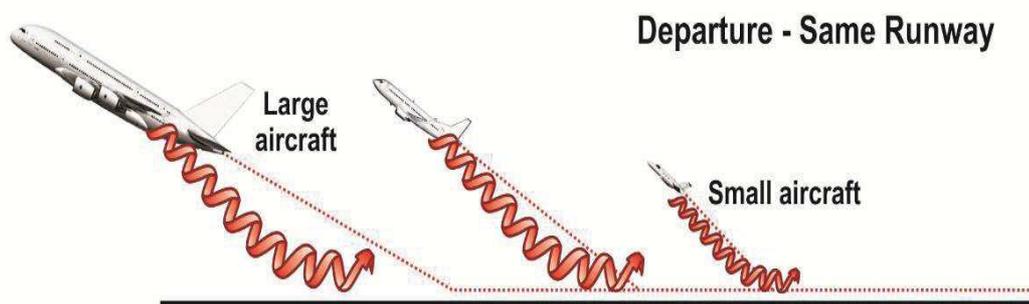


Figure II.11 : départ de la même piste derrière un gros porteur*

- ❖ Soyez attentif à toute situation critique de décollage qui pourrait conduire à une rencontre de vortex.

II.8.3 décollage d'intersection :

Lors des décollages d'intersection, les pilotes devront noter le point de rotation de l'avion le plus gros et faire tourner avant ce point. Aussi être alerté aux opérations adjacentes de gros porteurs. Si l'autorisation de décollage d'intersection est reçue, il faut éviter la trajectoire qui traversera en dessous de la trajectoire d'un gros porteurs. (Figure II.12).

II.8.4 Décollage ou atterrissage derrière un gros porteur avec exécution d'une approche interrompue :

Les tourbillons installent et déplacent latéralement près du sol, donc les risques de vortex peuvent exister le long de la piste et dans une trajectoire derrière un gros porteur effectuant une faible/approche interrompue. (Figure II.12)

* U.S Department of transportation. FAA. (02/10/2014). Aircraft Wake Turbulence (Page 07)

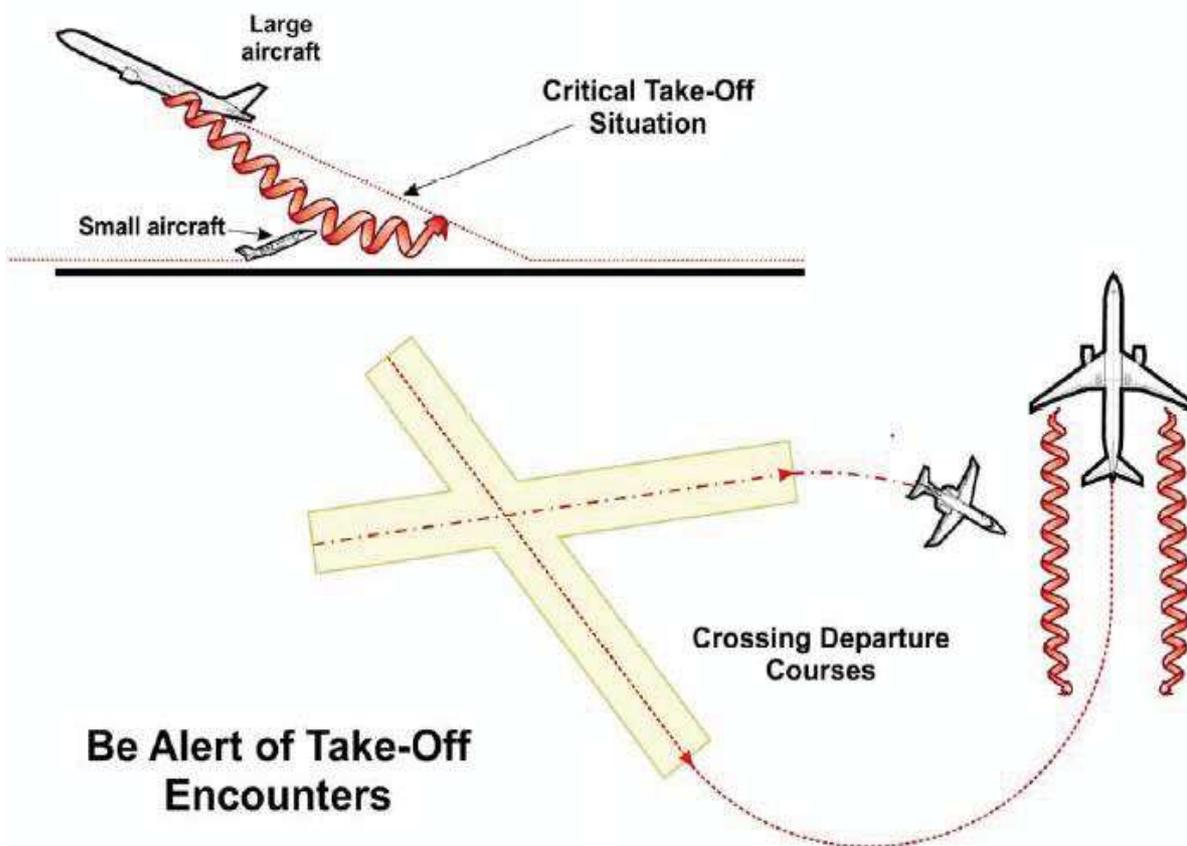


Figure II.12 : situations critiques du décollage et le traverse en cours de départ*

II.8.5 En route VFR (séparation de 500 pieds) :

Les pilotes devraient éviter le vol au-dessous et derrière la trajectoire d'un gros porteur. Si un gros porteur est observé dessus dans la même piste, le pilote doit ajuster leur position latéralement, de préférence face au vent.

II.8.6 Atterrissage derrière un gros porteur :

Il existe plusieurs cas :

❖ la même piste :

Lorsque l'atterrissage derrière un gros porteur sur la même piste, les pilotes doivent « rester à » ou « au dessus » de la trajectoire d'approche final de cet aéronef.

* U.S Department of transportation. FAA. (02/10/2014). Aircraft Wake Turbulence (Page 08)

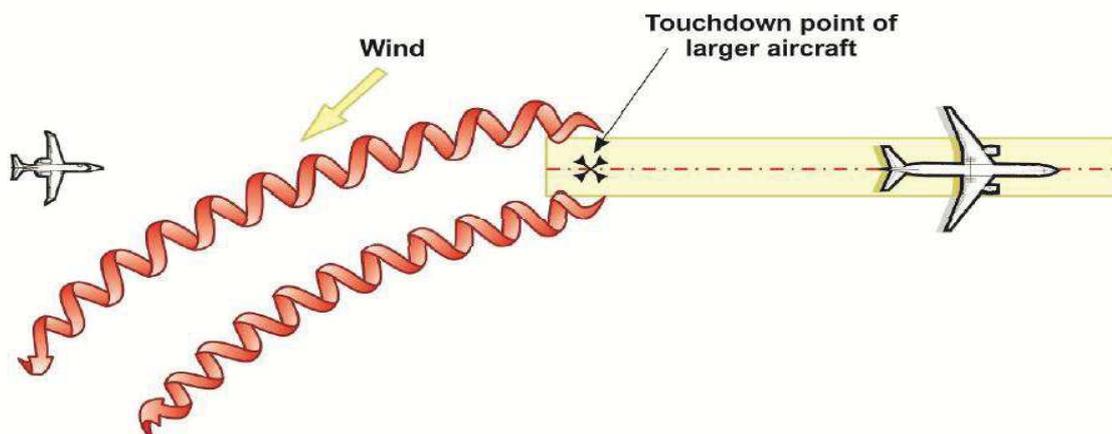


Figure II.13 : procédures de prévention pour l'atterrissage derrière un gros porteur sur la même piste*

❖ **sur des pistes parallèles séparées de moins de 2500 ft :**

Dans ce cas les pilotes doivent examiner la relation entre les emplacements du seuil de piste, les chemins relatifs de descente GS, l'emplacement et le mouvement du vortex sur la piste. Si les pilotes ont un contact visuel avec l'atterrissage de gros porteur sur la piste parallèle, dès que possible, ils devront rester à ou au dessus de la trajectoire d'approche finale de cet avion.

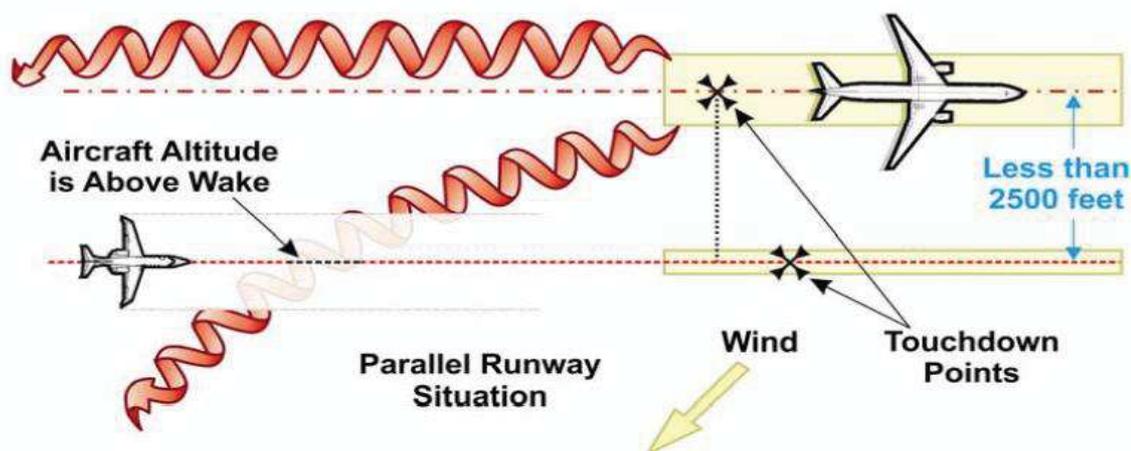


Figure II.14 : procédures de prévention pour l'atterrissage dans des pistes parallèles séparées de moins de 2500ft*

* U.S Department of transportation. FAA. (02/10/2014). Aircraft Wake Turbulence (Page 09,10)

❖ pistes sécantes :

Dans ce cas, les pilotes devront traverser au-dessus de la trajectoire de gros porteur.

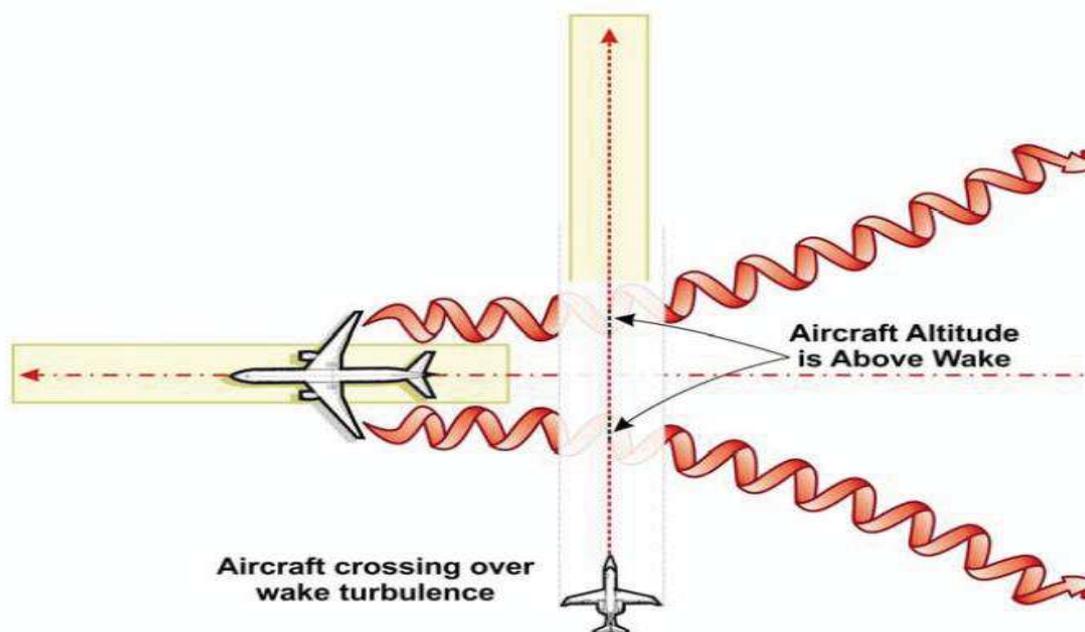


Figure II.15 : procédures de prévention pour l'atterrissage derrière un gros porteur qui utilise une piste de croisement (vent nul)*

II.8.7 Atterrissage derrière le décollage d'un gros porteur :

❖ la même piste :

Pour ce cas, les pilotes devront noter le point de rotation du gros porteur et feront l'atterrissage avant ce point.

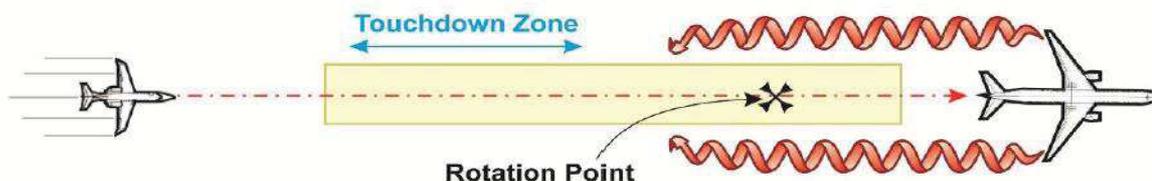


Figure II.16 : atterrissage derrière le décollage d'un gros porteur sur la même piste*

❖ pistes sécantes :

Les pilotes devront noter le point de rotation de cet aéronef, Si la rotation est passée l'intersection, continuer l'approche et atterrir avant l'intersection. Si le gros porteur tourne avant l'intersection, il faut éviter le vol en dessous de la trajectoire de cet avion.

* U.S Department of transportation. FAA. (02/10/2014). Aircraft Wake Turbulence (Page 10,11)

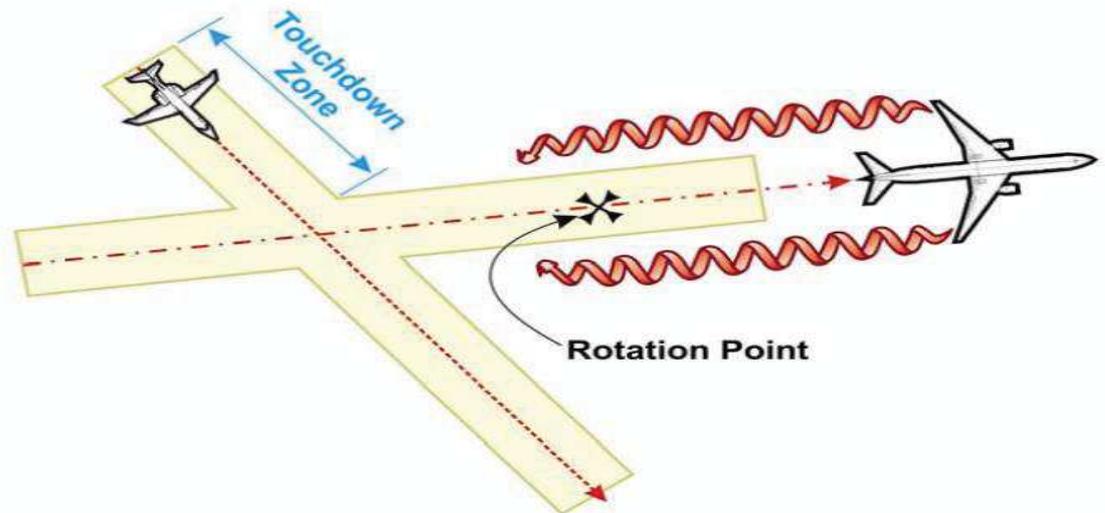


Figure II.17 : évitement de l'atterrissage derrière le départ d'un gros porteur sur une piste croisée si le point de rotation est après l'intersection*

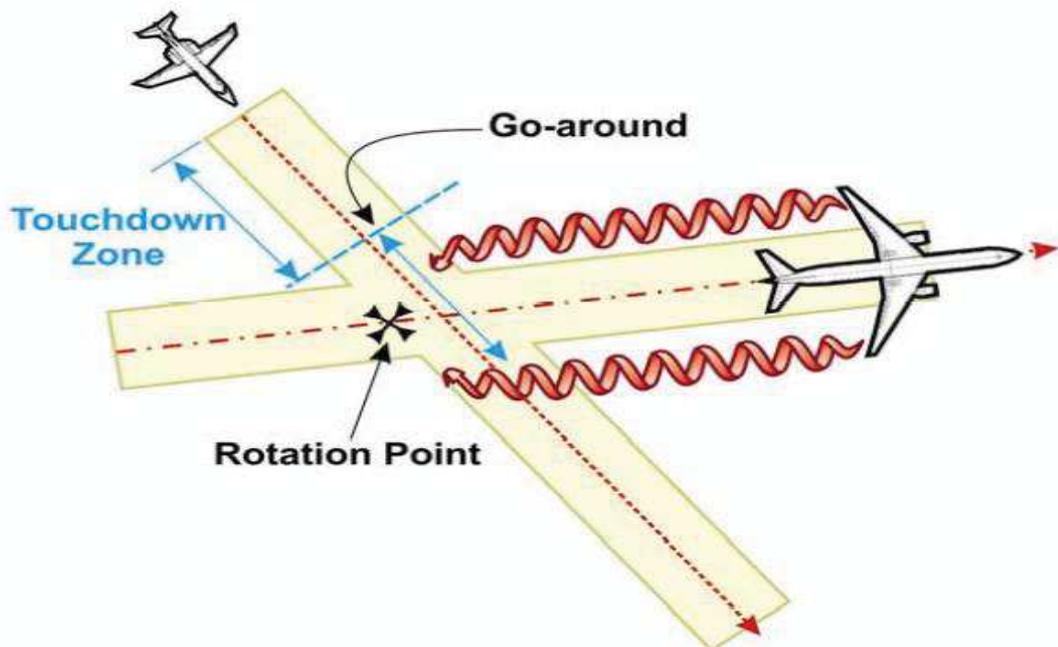


Figure II.18 : évitement de l'atterrissage derrière le départ d'un gros porteur sur une piste croisée si le point de rotation est avant l'intersection*

II.9 Orientation de la rencontre du vortex :

II.9.1 Probabilité de danger :

Une rencontre de sillage n'est pas nécessairement dangereuse. Il peut être un ou plusieurs secousses avec une sévérité variable en fonction de la direction de la rencontre (angle d'interception), du poids et de la configuration de la génération de l'aéronef, la taille de

* U.S Department of transportation. FAA. (02/10/2014). Aircraft Wake Turbulence (Page 12)

l'aéronef rencontrant, la distance à partir de l'aéronef qui génère les tourbillons, et le point de rencontre du vortex. La probabilité de roulis induit augmente lorsque le cap de l'avion rencontrant est généralement aligné ou parallèle à la trajectoire de vol de l'avion générant. Les pilotes doivent éviter la zone ci-dessous et derrière l'avion générant, surtout à basse altitude lorsque une rencontre de sillage momentanée peut être dangereuse. Et doivent être particulièrement attentifs dans les conditions de vent calme et des situations de manœuvre dans les environs de l'aéroport où les tourbillons pourraient :

1. Rester dans la zone d'atterrissage ;
2. Dériver l'aéronef sur une piste à proximité ;
3. Enfoncer dans un décollage ou une trajectoire d'atterrissage sur une piste traversant ;
4. Enfoncer dans le trafic des autres opérations aéroportuaires.

II.9.2 Visualiser le Chemin du Vortex :

Les pilotes de tous les aéronefs doivent visualiser l'emplacement du chemin de vortex derrière un gros aéronef et utiliser des procédures appropriées d'évitement du vortex pour assurer une exploitation fiable. Il est également important que les pilotes de plus gros porteurs volent sur la GS, non au-dessus, chaque fois que possible, pour minimiser l'exposition de vortex à un autre aéronef.

II.9.3 Contrôle des entrées :

Il y a une anecdote des incidents de la rencontre de la turbulence de sillage dans lequel les entrées des pilotes aggravé la situation d'attitude inhabituelle provoquée par cette rencontre. Les Surprises causés par les rencontres de la turbulence de sillage peuvent impliquer des inversions rapides que les transitions d'avions à travers le sillage. Les pilotes devraient procéder avec prudence les entrées de commande pilote, notamment en évitant le renversement brusque des entrées d'ailerons et le contrôle de la gouverne de direction. Si l'altitude et les conditions le permettent, il peut être préférable de permettre à l'aéronef de faire la transition à travers le sillage et ensuite récupérer de toute attitude inhabituelle résultante, plutôt que agressivement essayer de contrôler l'avion lors de la rencontre de sillage.

II.9.4 Entrées de la gouverne de direction :

Avant l'expérience ou la formation qui met l'accent sur l'utilisation de la gouverne de direction comme un moyen de manœuvre en roulis n'était pas appliquer à toutes les opérations aériennes. L'utilisation de cette gouverne pour contrer le taux de roulis pendant un bouleversement du roulis peut conduire une réaction indésirable de l'avion.

II.10 Conclusion :

Un avion en approche ou en vol de croisière présente deux sortes de danger :

1. Le danger visible, c'est l'avion lui-même.
2. Le danger invisible, ce sont les turbulences de sillage, qui représentent un véritable danger, en particulier à proximité des aéroports où les avions se suivent de façon rapprochée.

Cette turbulences influe directement sur la capacité des pistes et par conséquent la capacité de l'aéroport lui même pour cela il existe des minimums de séparation à respecter fondés sur la répartition des types d'aéronefs.

III.1 Introduction :

La demande de la capacité aéroportuaire augmente chaque année. Une des principales contraintes de la capacité est la piste, qui ne peut accepter qu'un nombre limité de vols par unité de temps.

Cette capacité est directement liée aux séparations minimales entre les aéronefs à l'arrivée et au départ. Pour cette raison il existe une nouvelle re-catégorisation des avions qui a pour objet la réduction des minimums de séparation. Et nous allons présenter toutes les explications dans ce chapitre.

III.2 Coopération EUROCONTROL / FAA :

En 2005, la FAA et EUROCONTROL ont conjointement lancé le projet «RECAT », qui est divisé en phases. Cette initiative a mis en lumière l'incidence des différences de composition entre les flottes régionales d'aéronefs sur les avantages potentiels.

Les travaux initiaux ont visé à permettre de mieux connaître les compositions des flottes d'aéronefs aux aéroports européens et américains et à établir le lien d'interdépendance entre le nombre de catégories et les avantages opérationnels.

Dans un premier temps, le seul critère utilisé était qu'aucun aéronef ne devrait être exposé à un risque de rencontre de turbulence de sillage plus élevé que celui qui existe avec l'actuel régime des catégories de l'OACI et les minimums de séparation correspondants.

Au cours de l'analyse, après un examen généralisé du risque de rencontre de turbulence de sillage en fonction de l'autorité de contrôle, il est apparu clairement que, pour ce qui est du risque de rencontre de turbulence de sillage, les minimums de séparation de l'OACI sont plus prudents dans le cas d'une situation « lourd à lourd » que dans le cas d'une situation concernant d'autres paires de types d'aéronefs. Il est également apparu qu'il est moins prudent, en ce qui a trait au même risque, pour une situation où un aéronef léger suit un aéronef lourd.

Il est clair aussi que si on crée un plus grand nombre de classes d'aéronefs, chacune correspondra à une gamme moins étendue de types d'aéronefs et de besoins de protection. Avec des gammes plus étroites, on peut déterminer des séparations obligatoires plus précises et réduire sans danger certaines séparations. Cela dit, un plus grand nombre de catégories entraîne une plus grande complexité pour les contrôleurs de la circulation aérienne, ce qui entraîne la nécessité des outils supplémentaires pour les aider.

Les résultats d'analyse a permis que si on utilise six catégories, cette solution serait le meilleur compromis pour une mise en œuvre à court terme sans outils d'aide supplémentaires.

III.3 Les phases de RECAT :

III.3.1 première phase (RECAT-1) :

Optimisation des classes de séparation en fonction de la turbulence de sillage établies par l'OACI, dont le nombre passe à six.

III.3.2 deuxième phase (RECAT-2) :

Remplacement des classes de séparation par un régime « par paires » statique, dans lequel chaque paire d'aéronefs correspond à un minimum de séparation en fonction de la turbulence de sillage approprié.

III.3.3 troisième phase (RECAT-3) :

Séparation par paires dynamiques, dans le cadre de laquelle les minimums de séparation tiennent également compte des conditions réelles, telles que la masse de l'avion et les éléments atmosphériques/ météorologiques.

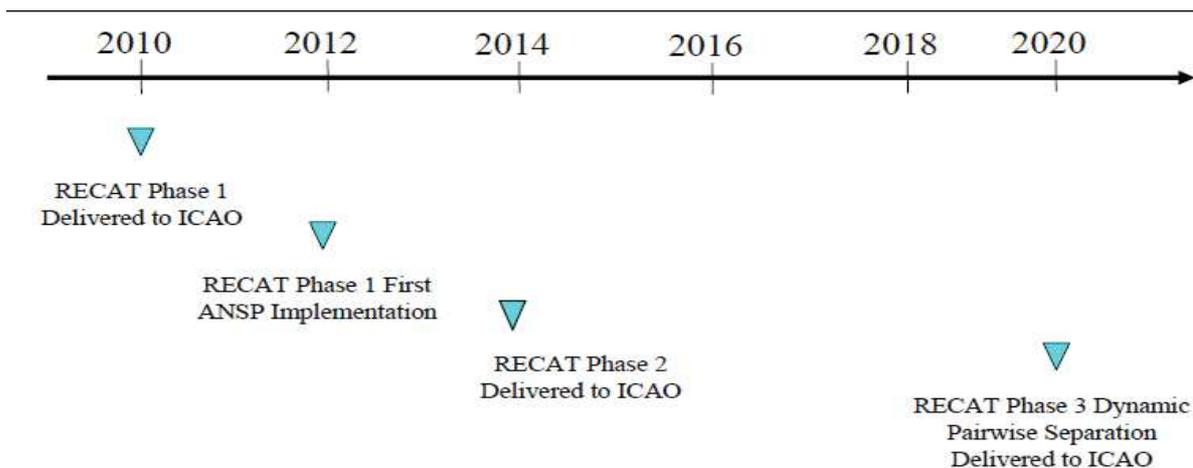


Figure III.1: les suivantes phases de RECAT*

III.4 L'énoncé du problème :

1. La demande de la capacité de l'aéroport augmente chaque année.
2. Les normes d'OACI des minimums de séparation actuelles sont largement considérés comme étant dépassées (pas à jour).
3. Beaucoup ANSP (Acronyme : les fournisseurs de service de la navigation aérienne) à l'échelle mondiale ont développé leurs variations individuelles à partir des normes de l'OACI.
4. Il existe une coopération internationale pour aborder les normes concernant la turbulence de sillage de l'OACI pour l'introduction des nouveaux gros aéronefs en service.

III.5 Les participants au programme RECAT :

III.5.1 Fédéral Aviation Administration (FAA) :

- ❖ Les opérations de la circulation aérienne (ATO).
- ❖ sécurité aérienne (AVS).

III.5.2 Eurocontrol :

- ❖ Département de l'espace aérien.
- ❖ Performance et Méthodes/ Évaluation de la sécurité.
- ❖ Performance et Méthodes / Validation.

* FAA, Eurocontrol. (20/06/2011). Presentation on Wake Turbulence Re-Categorization Phase I Methodology and Safety Case (Page 12).

III.5.3 organismes de soutien :

- ❖ Département de transport «VOLP centre ».
- ❖ Det Norske Veritas.
- ❖ Les experts des sujets internationaux.

III.6 Les principes du RECAT :

La proposition RECAT est fondée sur les principaux clés suivants:

1. Si une catégorie de turbulence de sillage de l'OACI (lourde ou moyenne) est divisé en une partie «supérieure» et « inférieure », la plus faible force des tourbillons de sillage produite par les avions classés dans la partie « inférieure » permet la réduction de la séparation pour n'importe quel aéronef suiveur.
2. Si une catégorie de turbulence de sillage de l'OACI (lourde ou moyenne) est divisée en une partie «supérieure» et « inférieure », la résistance la plus élevée à la rencontre de la turbulence de sillage de l'avion classé dans la partie « supérieure » permet une réduction de la séparation pour ces avions.
3. Si une catégorie de turbulence de sillage de l'OACI (lourde ou moyenne) est divisée en une partie «supérieure» et « inférieure », la séparation entre dirigeants supérieurs et suiveurs inférieurs, étant la plus exposée à des niveaux de risque maximum de turbulence de sillage, cette séparation reste inchangée pour préserver les niveaux courants.
4. Si l'exposition au niveau du risque de la turbulence de sillage au minimum de séparation doit être plus harmonisée entre les différents types d'aéronefs en tenant compte de la résistance de sillage, l'évaluation de l'impact de sillage permet la révision de la séparation pour « lourds et moyens » suiveurs derrière « super- lourd » , par rapport à un avion lourd doté d'une référence par l'OACI.

III.7 Les conditions et la portée du RECAT :

1. **Sécurité** : sûr ou plus sûr qu'aujourd'hui.
2. **Transparence**: les outils et les données sont disponibles
3. **Optimisation** :
 - ❖ Fournit des nouvelles catégories et des séparations optimisées aux différentes flottes actuelles et évalués pour la future flotte mixte.
 - ❖ se concentre sur 61 types d'avions représentatifs.
4. **appliquer à l'arrivée et au départ.**
 - ❖ La distance et le temps sont la base de séparation donnée pour l'approche et le départ.
5. **augmentation de la capacité.**

III.8 Les caractéristiques des aéronefs :

Les aéronefs diffèrent largement selon leurs dimensions physiques et leurs caractéristiques de performances.

Les Caractéristiques physiques des aéronefs ont une signification opérationnelle et économique qui affecte de façon importante la conception, le développement et l'exploitation d'un aéroport.

Ils influencent sur les aspects de la conception des pistes, voies de circulation, les rampes, les aires de trafic, les installations d'entretien.

Il y a un grand nombre de spécifications en fonctions desquelles les aéronefs sont classés.

L'ancienne catégorisation de l'OACI est basée sur la **masse maximale au décollage** consignée au certificat de navigabilité.

La nouvelle re-catégorisation des avions (RECAT) est basée sur **le poids, la vitesse d'approche** et les **caractéristiques de l'envergure** des aéronefs.

III.8.1 Le poids* :

le poids d'un aéronef est important pour déterminer l'épaisseur et la résistance des chaussées des pistes, voies de circulation et aires de stationnement, et influe sur les besoins en longueur des pistes au décollage et à l'atterrissage, affectant ainsi la planification de l'ensemble aéroportuaire.

III.8.2 Envergure** :

Permet de déterminer la longueur de l'aire de stationnement et de l'espacement entre postes de stationnement, ainsi que la largeur des pistes et voies de circulation.

III.8.3 La vitesse d'approche :

La vitesse normale d'approche en finale est de 1,3 Vs (vitesse de décrochage). C'est la vitesse pour être maintenue jusqu'à 50 pieds au-dessus du seuil de piste.

La vitesse d'approche finale obtenu fournit le meilleur compromis entre les qualités de manipulation (marge de décrochage ou contrôlabilité / la manœuvrabilité) et la distance d'atterrissage.

Certains fabricants et opérateurs utilisent le terme V_{app} pour désigner la vitesse d'approche finale.

III.8.4 La masse maximale au décollage (MTOW) :

Est la masse maximale autorisée déterminée par le constructeur et respectant les règles de sécurité. Cette masse inclut la totalité de ce qui est à bord, la masse à vide de l'appareil, les équipements et aménagements intérieurs, le carburant, l'équipage, les passagers et le fret.

III.9 Catégories d'aéronefs :

III.9.1 Les anciennes catégories recommandées par l'OACI *** :

1. **Gros porteurs (H)** : tous les types d'aéronefs d'une masse supérieure ou égale à 136000 Kg.
2. **Moyen tonnage (M)** : types d'aéronefs d'une masse inférieure à 136000 Kg mais supérieure à 7000 Kg.
3. **Faible tonnage (L)** : types d'aéronefs d'une masse inférieure ou égale à 7000 Kg.
4. en 2008 l'OACI a créé une nouvelle classe "**Super-lourd**" pour l'Airbus 380.

*M.H.F. Abdelwaheb. (2014) cours de gestion Aéroportuaire.

** M.H.F. Abdelwaheb. (2014) cours de gestion Aéroportuaire.

*** OACI. Manuel de gestion du trafic aérien (Doc 4444). 15^{ème} édition 2007 (Page 64).

III.9.2 Les nouvelles catégories selon le programme RECAT* :

La phase 1 de RECAT a classée les avions dans 6 catégories :

1. **Catégorie A (Super Heavy) :** tous les types d'aéronefs d'une masse maximale de décollage de 136077.711 Kg et d'une envergure supérieure à 245 pieds.
2. **Catégorie B (Upper Heavy) :** aéronefs capable de voler avec une masse maximale de décollage de 136077.711 Kg ou plus, avec une envergure supérieure à 175 pieds et inférieure ou égale 245 pieds.
3. **Catégories C (Lower Heavy) :** aéronefs capable de voler avec une masse maximale de décollage de 136077.711 Kg ou plus, avec une envergure supérieure à 125 pieds et inférieure ou égale à 175pieds.
4. **Catégorie D (Upper Medium) :** tous les types d'aéronefs d'une masse maximale de décollage inférieure à 136077.744 Kg, avec envergure supérieure à 125 pieds et inférieure ou égale à 175 pieds. Ou un aéronef avec une envergure supérieure à 90 pieds et inférieure ou égale à 125 pieds.
5. **Catégorie E (Lower Medium) :** tous les types d'aéronefs d'une masse maximale au décollage supérieure à 18597 Kg, avec une envergure supérieure à 65 pieds et inférieure ou égale à 90 pieds.
6. **Catégorie F (Light) :** tous les types d'aéronefs d'une masse maximale de décollage inférieure à 18597 Kg, avec une envergure inférieure ou égale à 125 pieds. Ou aéronef capable de voler avec une MTOW inférieure de 7030 Kg, quel que soit son envergure. Ou un planeur motorisé.

III.10 Les 61 types d'aéronefs utilisés dans le programme RECAT :

Fabricant	Modèle	Code FAA	Fabricant	Modèle	Code FAA
Aérospatiale	ATR42-300	AT43			
Aérospatiale	ATR42-500	AT45	Boeing	DC-9-30	DC93
aérospatiale	ATR72	AT72	Boeing	DC-9-50	DC95
Airbus	A300-600	A306	Boeing	MD-11	MD11
Airbus	A318	A318	Boeing	MD-82	MD82
Airbus	A319	A319	Boeing	MD-83/MD-88	MD83/88
Airbus	A320	A320	Bombardier	CRJ-100	CRJ1
Airbus	A321	A321	Bombardier	CRJ-200	CRJ2
Airbus	A330-200	A332	Bombardier	CRJ-700	CRJ7
Airbus	A330-300	A333	Bombardier	CRJ-900	CRJ9
Airbus	A340-300	A343	Bombardier	DHC8-100	DH8A
Airbus	A340-600	A346	Bombardier	DHC8-200	DH8B
Airbus	A380	A380	Bombardier	DHC8-300	DH8C
Avro	RJ-85	RJ85	Bombardier	DHC8-Q400	DH8D
Avro	RJ-100	RJ1H	British Aerospace	Bae 146-200	B462
Beechcraft	1900D	B190	British Aerospace	Bae146-300	B463
Boeing	B717-200	B712	Cessna	Citation CJ1	C525
Boeing	B727-200	B722	Cessna	650 C-III/VI/VII	C650

* U.S Department of transportation. FAA.(01/06/2014). Wake Turbulence Recategorization (Page 19).

Chapitre III : Re-catégorisation de la turbulence de sillage

Boeing	B737-300	B 733	Embraer	EMB-120	E120
Boeing	B737-400	B734	Embraer	EMB-135	E135
Boeing	B737-500	B735	Embraer	EMB-145	E145
Boeing	B737-600	B736	Embraer	EMB-170	E170
Boeing	B737-700	B737	Embraer	EMB-190	E190
Boeing	B737-800	B738	Embraer	EMB-145XR	E45X
Boeing	B737-900	B739	Fokker	F-50	F50
Boeing	B747-400	B744	Fokker	F-70	F70
Boeing	B757-200	B752	Fokker	F-100	F100
Boeing	B757-300	B753	Gulfstream	G-4	GLF4
Boeing	B767-300	B763	Gulfstream	G-5	GLF5
Boeing	B777-200	B772	Saab	340	SF34
Boeing	B777-300	B773	Raytheon	125-700	H25B

Tableau III.1: les types d'aéronefs utilisés dans RECAT*

III.11 Classification des avions selon RECAT :

Super Heavy (super lourde)	Upper Heavy (supérieure lourde)	Lower Heavy (inférieure lourde)	Upper Medium (supérieure moyenne)	Lower Medium (inférieure moyenne)	Light (Léger)
CAT- A -	CAT -B -	CAT -C -	CAT- D-	CAT -E-	CAT -F-
A388	A332	A306	A318	AT43	FA10
A124	A333	A30B	A319	AT45	FA20
(...)	A343	A310	A320	AT72	D328
	A345	B703	A321	B712	E120
	A346	B752	AN12	B732	BE40
	A359	B753	B736	B733	BE45
	B744	B762	B737	B734	H25B
	B748	B763	B738	B735	H25B
	B772	B764	B739	CL60	JS32
	B773	B783	B738	CRJ1	JS41
	B77L	B764	B739	CRJ2	LJ35
	B77W	C135	C130	CRJ7	LJ60
	B788	DC10	IL18	CRJ9	SF34
	IL96	DC85	MD81	DH8D	SF34
	(...)	IL76	MD82	E135	P180
		MD11	MD83	E145	C650
		TU22	MD87	E170	C525
		TU95	MD88	E175	C180
		(...)	MD90	E190	C152
			T204	E195	(...)
			TU16	F70	(...)
			(...)	F100	(...)
				GLF4	(...)
				RJ85	(...)
				RJ1H	(...)
				(...)	(...)

Tableau III.2: classement des aéronefs selon RECAT d'après EUROCONTROLE**

* FAA, Eurocontrol. (20/06/2011). Presentation on Wake Turbulence Re-Categorization Phase I Methodology and Safety Case (Page 17).

** Eurocontrol.(27/02/2015). European wake turbulence categorisation and separation minima on approach and departure.1ère édition.(Page 18).

III.12 Les minimums de séparation :

III.12.1 Selon l'ancienne catégorisation :

Avions suiveurs Avion de tête		Avions suiveurs			
		A380	Lourd	Moyen	Faible
L'avion de tête	A380	MRS	6 NM	7 NM	8 Nm
	Lourd	MRS	4 NM	5 NM	6 NM
	Moyen	MRS	MRS	MRS	5 NM
	Faible	MRS	MRS	MRS	MRS

Tableau III.3: les minimums de séparation selon l'OACI en approche*

- **L'avion de tête :** Le premier avion dans une séquence de deux départs successifs.
- **L'avion suiveur :** Le deuxième avion dans une séquence de deux départs successifs.

III.12.2 Selon RECAT :

Pour l'approche :

Avions suiveurs Avion de tête		Super Heavy	Upper Heavy	Lower Heavy	Upper Medium	Lower Medium	Light
		A	B	C	D	E	F
Super Heavy	A	3 NM	4 NM	5 NM	6 NM	7 NM	8 NM
Upper Heavy	B	MRS	3 NM	4 NM	4 NM	5 NM	7 NM
Lower Heavy	C	MRS	MRS	3 NM	3 NM	4 NM	6 NM
Upper Medium	D	MRS	MRS	MRS	MRS	MRS	5 NM
Lower Medium	E	MRS	MRS	MRS	MRS	MRS	4 NM
Light	F	MRS	MRS	MRS	MRS	MRS	3 NM

Tableau III.4: les minimums de séparation selon RECAT en approche**

* FAA, Eurocontrol. (20/06/2011). Presentation on Wake Turbulence Re-Categorization Phase I Methodology and Safety Case (Page 13).

** Treve,V. Rooseleer.F. (13/05/2014). RECAT-EU proposal, validation and consultation (Page 14).

Pour le départ :

Avions suiveurs Avion de tête		Super Heavy	Upper Heavy	Lower Heavy	Upper Medium	Lower Medium	Light
		A	B	C	D	E	F
Super Heavy	A	120s	100s	120s	140s	160s	180s
Upper Heavy	B	120s	120s	120s	100s	120s	140s
Lower Heavy	C	120s	120s	120s	80s	100s	120s
Upper Medium	D	120s	120s	120s	120s	120s	120s
Lower Medium	E	120s	120s	120s	120s	120s	100s
Light	F	120s	120s	120s	120s	120s	80s

Tableau III.5: les minimums de séparation au départ selon RECAT*

III.13 La comparaison entre les catégories d'OACI et la nouvelle re-catégorisation :

Les tableaux ci-dessous présentent la variation des minimums de séparation entre les catégories de l'OACI et la nouvelle re-catégorisation :

Avions suiveurs Avion de tête		Super Heavy	Upper Heavy	Lower Heavy	Upper Medium	Lower Medium	Light
		A	B	C	D	E	F
Super Heavy	A	(+0.5) NM	-2 NM	-1 NM	-2 NM	-1 NM	
Upper Heavy	B		-1 NM		-1 NM		+1NM
Lower Heavy	C		-1 (-1.5) NM	-1 NM	-2 NM	-1 NM	
Upper Medium	D						
Lower Medium	E						-1 NM
Light	F						(+0.5NM)

Tableau III.6 : La différence entre les minimums de séparation de la turbulence de sillage en approche de la référence OACI et la référence RECAT*

* Treve,V. Rooseleer.F. (13/05/2014). RECAT-EU proposal, validation and consultation (Page 14,15).

Chapitre III : Re-catégorisation de la turbulence de sillage

- Les chiffres indiqués entre parenthèses correspondent à une MRS de 2,5 Nm comme référence.

Avions suiveurs Avion de tête		Super Heavy	Upper Heavy	Lower Heavy	Upper Medium	Lower Medium	Light
		A	B	C	D	E	F
Super Heavy	A		-20s		-40s	-20s	
Upper Heavy	B				-20s		+20s
Lower Heavy	C				-40s	-20s	
Upper Medium	D						
Lower Medium	E						-20s
Light	F						+20s

Tableau III.7 : La différence entre les minimums de séparation de la turbulence de sillage au départ de la référence OACI et la référence RECAT*

III.14 Séparation radar :

Séparation utilisée lorsque les renseignements sur la position des aéronefs sont tirés de sources radar.

III.14.1 Minimums de séparation fondés sur des systèmes de surveillance ATS** :

Le minimum de séparation horizontale fondé sur le radar et/ou l'ADS-B (en ce qui concerne les approches parallèles indépendantes ou interdépendantes), sera de 9,3 km (5,0 NM).

Sous réserve d'une prescription à cet effet de l'autorité ATS compétente, le minimum de séparation radar pourra être réduit mais à une valeur non inférieure à :

- a) 5,6 km (3,0 NM) si les possibilités du radar le permettent ;
- b) 4,6 km (2,5 NM) entre aéronefs qui se succèdent et qui sont établis sur la même trajectoire d'approche finale à moins de 18,5 km (10 NM) de l'extrémité de la piste. Un minimum de séparation réduit de 4,6 km (2,5 NM) peut être appliqué à condition :
 - 1) qu'il ait été prouvé, par exemple au moyen d'une collecte et d'une analyse statistique de données et de méthodes fondées sur un modèle théorique, que le temps moyen d'occupation de la piste par les aéronefs à l'atterrissage ne dépasse pas 50 secondes ;
 - 2) que le coefficient de freinage ait été déclaré bon et que les temps d'occupation de la piste ne subissent pas d'effet préjudiciable causé par la présence de contaminants (par exemple, neige fondante, neige ou glace) sur la piste ;

* Treve, V. Rooseleer, F. (13/05/2014). RECAT-EU proposal, validation and consultation (Page 15).

** OACI. Manuel de gestion du trafic aérien (Doc 4444). 15^{ème} édition 2007 (Page 183,184).

- 3) qu'un système radar offrant un pouvoir séparateur approprié en azimut et en distance ainsi qu'une période de mise à jour de 5 secondes ou moins soit utilisé avec des affichages radar appropriés ;
- 4) que le contrôleur d'aérodrome soit en mesure d'observer, visuellement ou au moyen d'un radar de surface (SMR) ou d'un système de contrôle et de guidage des mouvements à la surface (SMGCS), la piste en service ainsi que les voies d'entrée et de sortie correspondantes ;
- 5) que le contrôleur surveille attentivement les vitesses d'approche des aéronefs en les faisant modifier selon les besoins pour empêcher que les distances qui séparent les aéronefs ne tombent sous la valeur minimale ;
- 6) que les exploitants d'aéronefs et les pilotes aient été dûment mis au courant de la nécessité d'évacuer rapidement la piste lorsqu'un minimum de séparation réduit est appliqué en approche finale ;
- 7) que les procédures relatives à l'application du minimum réduit figurent dans les AIP.

III.15 Quelques exemples :

A) Le **Boeing 767-300** et l'**Airbus A340-600** sont dans la même catégorie « **Lourde** » de L'OACI, tandis que leurs envergures ont une différence de plus de 15 mètres. Comme la montre la figure suivante :



Figure III.2 : Comparaison de la taille des aéronefs entre l'Airbus A340-600 et le Boeing B767-300*

Mais d'après la nouvelle re-catégorisation le B762 est inclus dans la **catégorie -C-** et l'A346 dans la **catégorie -B-**, et cela entraîne une réduction des minimums de séparation comme le montre la figure :

* Eurocontrol.(27/02/2015). European wake turbulence categorisation and separation minima on approach and departure.1ère édition.(Page 12).

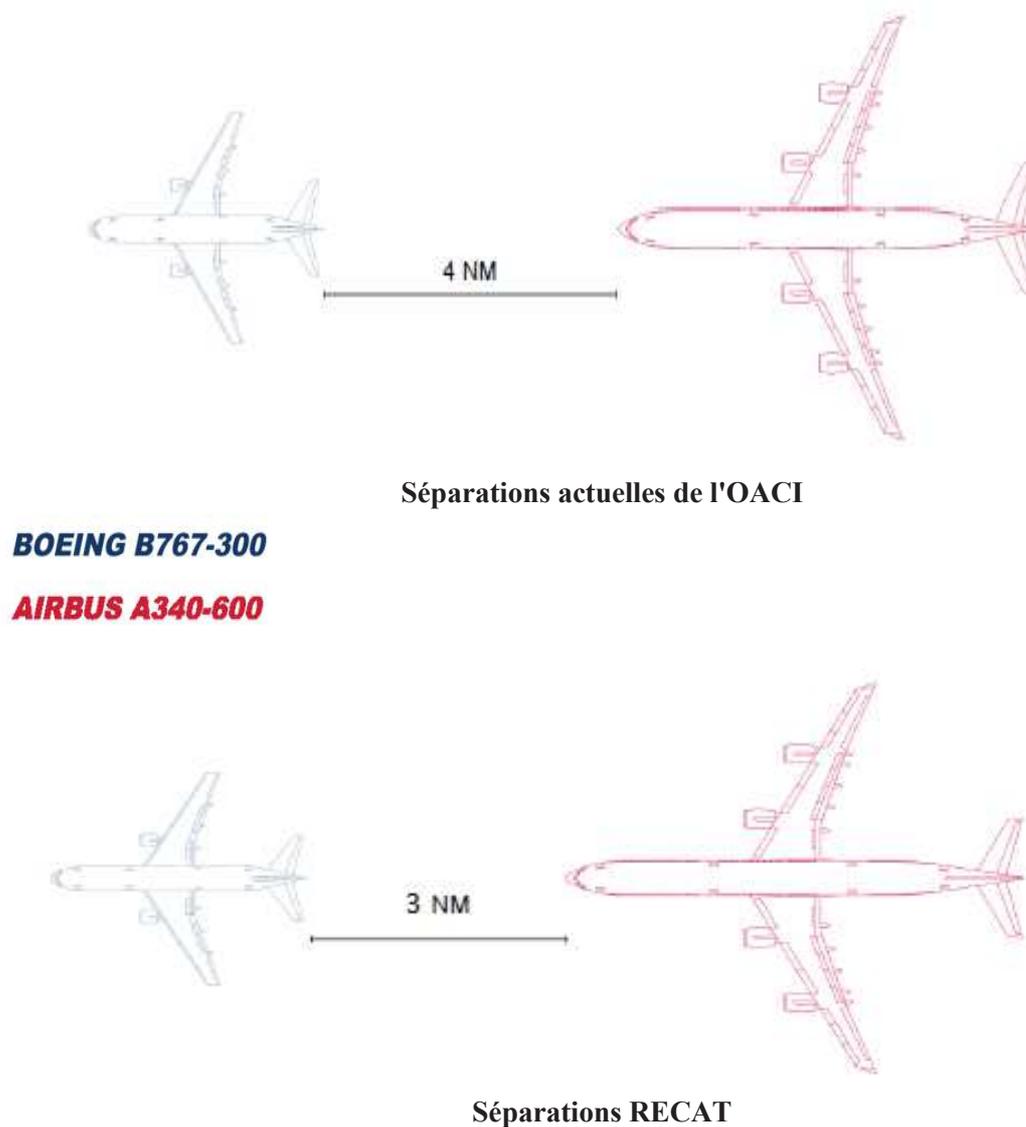


Figure III.3 : comparaison des minimums de séparation applicables à l'A346 et le B763 entre le programme RECAT et l'OACI *

B) L'Embraer ERJ- 145 et l'Airbus A320 sont dans la même catégorie « Moyenne » de L'OACI, tandis que leurs envergures ont une différence de plus de 12 mètres. Par conséquent, l'A320 subit une séparation prudente quand il est suiveur.

* Eurocontrol.(27/02/2015). European wake turbulence categorisation and separation minima on approach and departure.1ère édition.(Page 13,14).

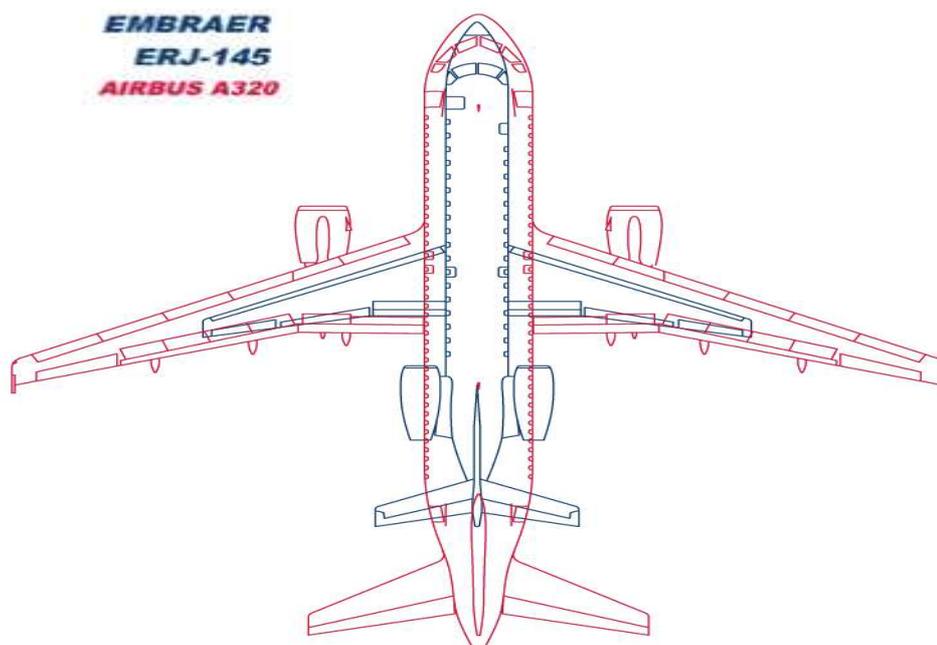


Figure III.4: Comparaison de la taille des aéronefs entre l'Airbus A320 et l'ERJ-145*

Mais d'après la nouvelle re-catégorisation l'ERJ-145 est inclus dans la **catégorie -E-** et l'A320 dans la **catégorie -D-**. Mais ils ont les mêmes minimums de séparation lorsqu'ils suivent un A346 (**catégorie -B-**) d'après les normes actuelles de l'OACI.

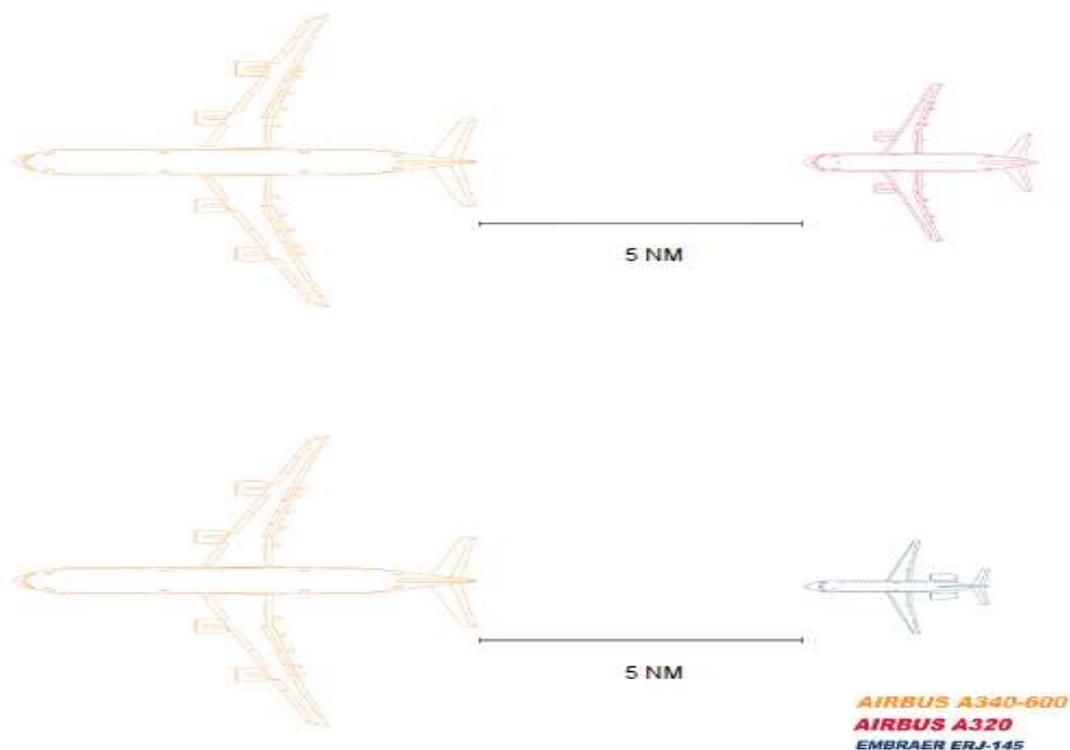


Figure III.5: les minimums de séparation applicables à l'A320 et l'ERJ-145 suivant l'A 346 selon l'OACI*

* Eurocontrol.(27/02/2015). European wake turbulence categorisation and separation minima on approach and departure.1ère édition. (Page 15).

Par contre, ces minimums de séparation d'après RECAT sont les suivantes :

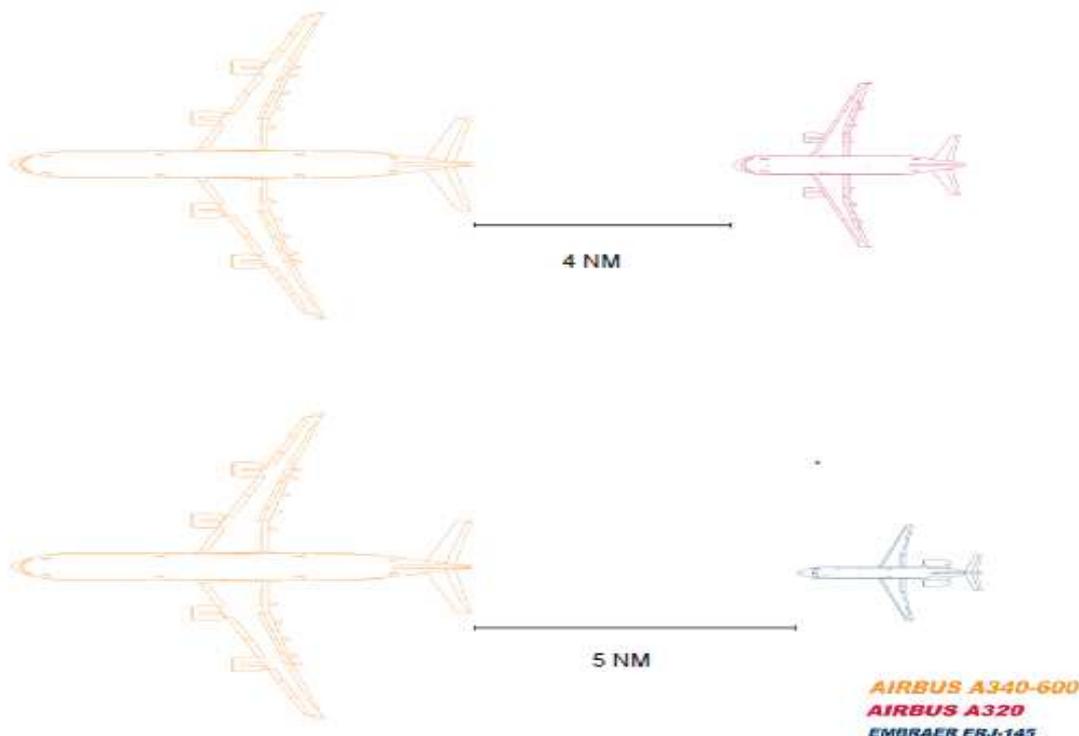


Figure III.6 : les minimums de séparation applicables à l'A320 et l'ERJ-145 suivant l'A340 selon RECAT*

III.16 Les avantages du RECAT :

La nouvelle re-catégorisation aura un effet positif sur la capacité et la sécurité, et pourrait réduire considérablement les retards en vol.

1. Espacement plus précis et efficace sera livré, depuis la re-catégorisation qui fournit des nouvelles sous-catégories (la division des catégories moyennes et lourdes de l'OACI).
2. Le RECAT apporte des gains pour le débit de piste de 5% ou plus pendant les périodes de pointes en fonction de la configuration de l'aéroport, en réduisant la séparation entre les avions.
3. Le gain de la capacité pourrait grandir au temps de cinq ans en raison de l'évolution du trafic.
4. Une meilleure protection des très petits et moyens avions d'OACI (<15T MTOW).

III.17 Conclusion :

Pendant la phase RECAT-1, il a été convenu que six classes de la turbulence de sillage étaient gérables sans outils de gestion pour les contrôleurs.

Si l'implémentation du RECAT est appliquée dans tous les aéroports avec le respect des minimums de séparation, il y aura un développement dans l'aviation et moins d'accidents autour du monde.

* * Eurocontrol.(27/02/2015). European wake turbulence categorisation and separation minima on approach and departure.1ère édition. (Page 16).

IV.1 Introduction :

Le système des pistes constitue en générale l'élément limitant de la capacité aéroportuaire, à cause de sa fonction particulière parce qu'il permet aux avions d'atterrir et de décoller en toute sécurité. Dans le présent chapitre nous allons présenter les différents facteurs qui influent sur la capacité des pistes et les méthodes pour la calculer.

IV.2 Évaluation de la capacité aéroportuaire :

La capacité d'un aéroport est une question complexe dont plusieurs éléments de l'installation de l'aéroport doivent être examinés :

IV.2.1 Aire de trafic : qui contient les composantes suivantes :

- ❖ Entrée ;
- ❖ Aérogare ;
- ❖ Voies d'accès.

IV.2.2 Coté piste :

- ❖ L'espace aérien ;
- ❖ Pistes ;
- ❖ Les voies de circulation.

Nous allons nous intéresser par le coté piste ;

IV.2.2.1 Espace aérien :

L'espace aérien est organisé pour fournir une sécurité optimale à tous les aéronefs qui y évoluent. Cet espace est divisé en zones contrôlées et en zones non contrôlées.

IV.2.2.2 Les voies de circulation* :

Une voie de circulation 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 ;

* OACI. (14/03/2007). Conditions d'homologation et procédures d'exploitation des aérodromes (Page 09).

- ❖ 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.

IV.2.2.3 Piste :

Les pistes sont les surfaces d'un aéroport réservées au décollage et à l'atterrissage des aéronefs (avions, planeurs, hélicoptères... etc.). Elles peuvent être en béton, en bitume, en asphalte, en herbe, en plaques PSP, juste en terre battue ou recouverte de neige (altiports).

➤ La définition selon l'OACI* :

Aire rectangulaire définie, sur un aéroport terrestre, aménagée afin de servir au décollage et à l'atterrissage des aéronefs.

➤ Piste aux instruments* :

Piste destinée aux aéronefs qui utilisent des procédures d'approche aux instruments. Ça peut être avec un ILS comme suit :

❖ Une piste avec approche classique :

Piste 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.

❖ Une piste avec approche de précision, catégorie I :

Piste aux instruments desservie par un ILS, un MLS ou les deux et des aides visuelles destinée à l'approche avec une hauteur de décision (HD) au moins égale à 60 m (200 ft), et avec une visibilité (RVR) au moins égale à 800 m ou une portée visuelle de piste au moins égale à 550 m.

❖ Une piste avec approche de précision, catégorie II :

Piste aux instruments desservie par un ILS, un MLS ou les deux et des aides visuelles et destinée à l'approche avec une HD inférieure à 60 m (200 ft) mais au moins égale à 30 m (100 ft), et une RVR au moins égale à 300m.

❖ Une piste avec approche de précision, catégorie III :

Piste aux instruments desservie par un ILS, un MLS ou les deux, jusqu'à la surface de la piste et le long de cette surface,

- **Catégorie III.A** : destinée à l'approche avec une HD inférieure à 30 m (100 ft), ou sans hauteur de décision, et une RVR au moins égale à 175 m ;
- **Catégorie III.B** : destinée à l'approche avec une HD inférieure à 15 m (50 ft), ou sans hauteur de décision, et une RVR inférieure à 175 m mais au moins égale à 50 m ;
- **Catégorie III.C** : destinée à être utilisée sans HD ni limites de RVR.

IV.3 Les caractéristiques de l'ILS :

L'ILS est le moyen de radionavigation le plus utilisé pour l'approche de précision en conditions de vol aux instruments (IFR).

* OACI. Annexe 14 : Aéroports. Volume I : Conception et exploitation technique des aéroports. Sixième édition Juillet 2013 (Page 28,29).

IV.6 Les enjeux de l'espacement des aéronefs près des pistes :

- Les critères de l'espace aérien sont étroitement utilisés pour les séparations de piste:
 - ❖ Les Minimums de séparations radar (entraînées par la possibilité de se différencier des cibles dans une image radar) ;
 - ❖ Séparations de la turbulence de sillage - entraînée par le danger créé en volant derrière le sillage d'un avion de tête.

- Le temps d'occupation de la piste (TOP) :
 - ❖ Peut également être un facteur important dans les séparations en approche finale ;
 - ❖ Si le TOP est petit (c'est à dire, en raison de sorties de piste à grande vitesse), les séparations de l'espace aérien peut être augmenté pour éviter une occupation simultanée de la piste.

IV.7 Les facteurs qui influent sur la capacité des pistes :

- ❖ Nombre et disposition géométrique des pistes ;
- ❖ Exigences de séparation entre les aéronefs imposées par le système de gestion de trafic aérien ;
- ❖ Visibilité, plafond nuageux, et des précipitations ;
- ❖ Direction et force du vent ;
- ❖ Mélange des avions utilisant l'aéroport ;
- ❖ Mélange des mouvements sur chaque piste (arrivées seulement, départs seulement, ou mélangés) ;
- ❖ Type et emplacement des sorties de voie de circulation de la piste ;
- ❖ État et performances du système ATM ;
- ❖ D'autres considérations environnementales et des contraintes liées au bruit.

IV.8 Les méthodologies pour étudier la capacité et les retards d'un aéroport :

On a deux modèles :

IV.8.1 modèles analytiques :

Ce modèle basé sur deux méthodes :

- ❖ Analyse temps-espace
- ❖ Modèles des Files d'attente.

Ces modèles sont caractérisés comme suit :

- ❖ Plus facile et plus rapide à exécuter.
- ❖ Conseillé pour l'aéroport préliminaire/ la planification de l'espace aérien (lorsque la fonction de la demande est incertaine).
- ❖ Les résultats sont généralement moins précis mais appropriée.

IV.8.2 Les modèles basés sur la simulation :

Basés sur 3 méthodes :

- ❖ Simulation de Monte Carlo.
- ❖ Des modèles de simulation continues.
- ❖ Modèles de simulation à événements discrets.

Ces modèles dotés par les caractéristiques suivantes :

- ❖ Nécessitera plus de travail à exécuter ;
- ❖ Bons pour l'évaluation détaillée des installations existantes ;
- ❖ Les résultats sont plus précis et microscopiques.

IV.9 Analyse Espace – Temps :

Selon D. Antonio A. Trani une technique solide et simple pour évaluer la capacité de la piste, et la capacité de l'espace aérien si la progression entre les aéronefs est connue.

L'idée de base consiste à estimer une progression prévue, $E(h)$, puis estimer la capacité comme l'inverse de cette progression.

$$\text{Capacité} = 1 / E(h)^* \quad (1)$$

$E(h)$ est exprimé en unités de temps (par exemple, en secondes).

Ceux-ci tenant compte des séparations dues aux tourbillons de sillage, de l'erreur de systèmes, et le temps d'occupation de piste qui pourrait être une contrainte. Ce modèle tient compte de deux situations:

1. seulement la séparation horizontale entre les aéronefs est autorisée pendant l'approche.
2. espacement horizontal ou vertical est appliqué.

IV.9.1 La nomenclature de l'analyse Temps-Espace :

δ_{ij} : est la matrice de séparation minimale (nm).

T_{ij} : est la progression (l'intervalle) entre deux aéronefs successifs (s).

δ : est la séparation minimale arrivée-départ (nm).

Rot_i : est le temps d'occupation de la piste pour les avions de tête « i » (s).

σ_0 : est l'écart type de l'erreur de livraison en- piste.

V_i : est la vitesse de l'aéronef de tête « i » en nœuds.

V_j : est la vitesse de l'avion suiveur « 2^{ém} aéronef » (nœuds).

γ : est la longueur d'approche commune (nm).

B_{ij} : est la matrice du temps de tampon entre les aéronefs successifs (s).

q_v : est la valeur de la norme cumulative normale à la probabilité de violation p_v .

P_v : est la probabilité de violation des critères de séparation minimale entre deux avions.

* Dr A,A,Trani. (2012). Airport Capacity (Page 06).

Les modèles de la capacité d'atterrissage existants expriment la relation entre la longueur de la trajectoire d'approche commune, les vitesses de l'avion et les séparations ATC. Deux cas sont considérés:

IV.10.1.1 cas d'ouverture :

Lorsque la vitesse d'approche des avions de tête est supérieure à la vitesse de l'avion suiveur ($V_i > V_j$).

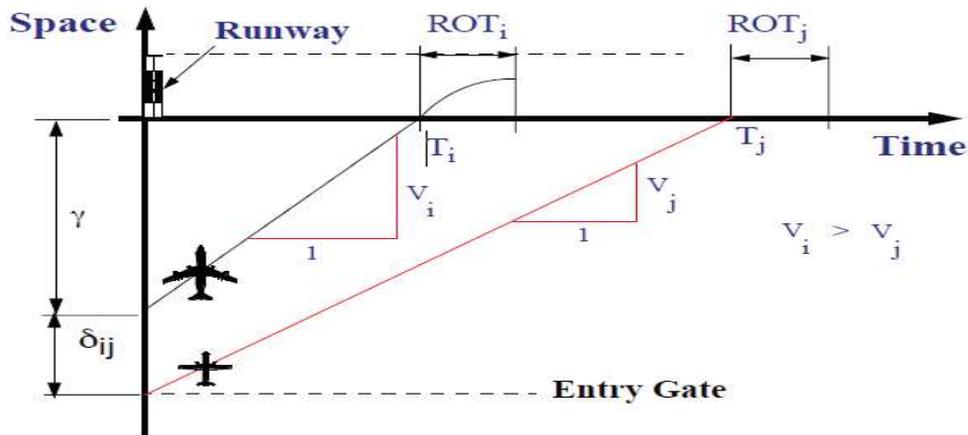


Figure IV.05 : Diagramme du cas d'ouverture (Arrivées uniquement)*

➤ **Les équations du cas d'ouverture :**

- **Sans erreur de progression :**

$T_{ij} = T_j - T_i^*$, (pas d'erreur de pilote et de contrôleur ATC) en supposant que le contrôle est exercé lorsque l'avion de tête a passé la porte d'entrée,

$$T_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + \gamma \left(\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right)^* \quad (2)$$

Normalement, une erreur du système est distribuée (avec moyenne nulle) est introduite pour les modèles sans erreur, pour tenir compte de la précision relative des ILS et MLS. Mais dans le but d'assurer que le premier appareil quitte la piste avant le deuxième aéronef croise T , une séparation de temps doit être maintenue entre l'arrivée des deux aéronefs consécutifs, Une telle séparation, comprenant un tampon (figure IV.06) est au moins égale à la durée entre-arrivées dérivée des modèles permettant les erreurs du système.

* Dr A,A,Trani. (2012). Airport Capacity (Page 11,12).

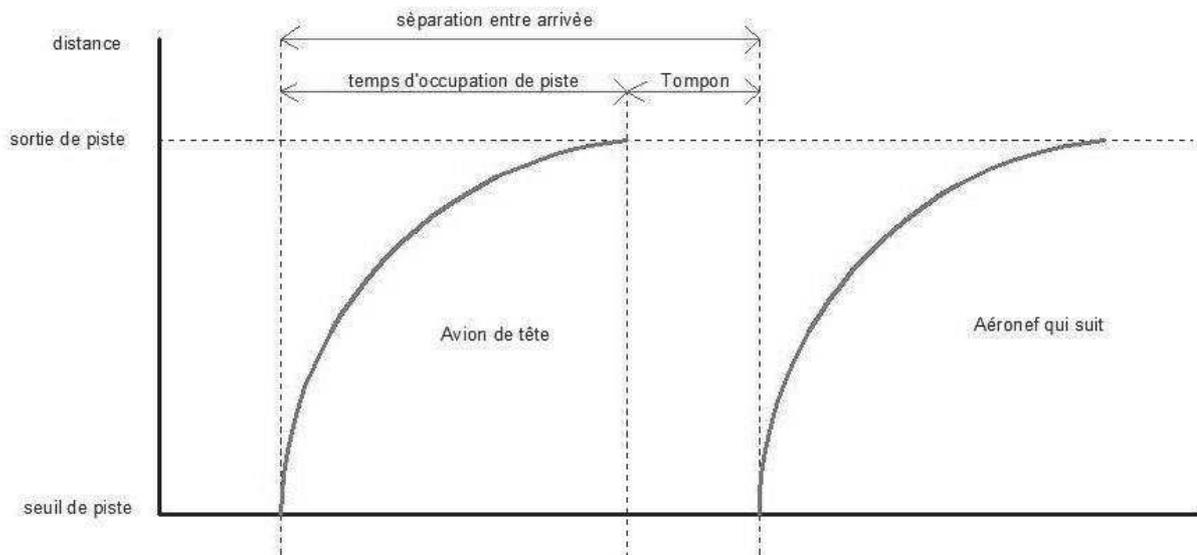


Figure IV.06 : Espacement d'arrivé due au temps d'occupation de piste*

- Erreur de position du temps de possession :

Avec erreur de pilote et de contrôleur ATC.

$$B_{ij} = \sigma_0 q_v - \delta_{ij} \left(\frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right) \quad \text{ou zéro si } B_{ij} < 0 \quad (3)$$

IV.10.1.2 cas de fermeture :

Lorsque la vitesse de l'avion de tête est inférieure à la vitesse de l'avion suiveur ($V_i \leq V_j$).

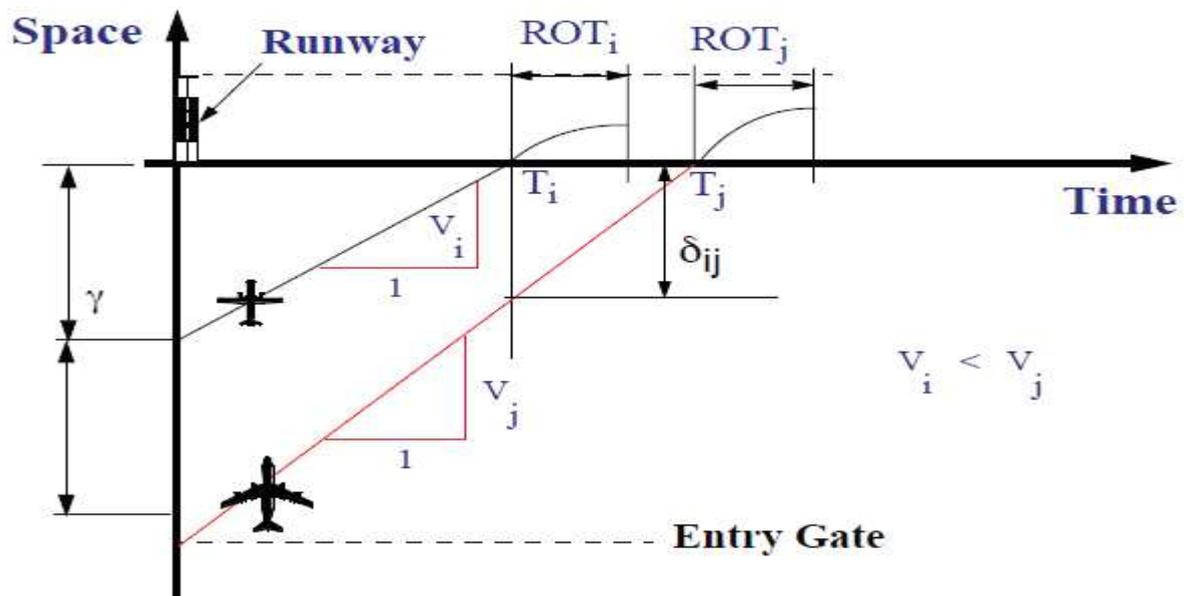


Figure IV.07 : Diagramme du cas de fermeture « seulement les arrivées»**

* Abdelouahab,F,H. (1990). The impact of the microwave landing system on runway capacity at regional airports

** Dr A,A,Trani.(2012). Airport Capacity (Page 14).

Avec : $V = V_0 + at^*$
 V : la vitesse à l'instant t .
Sachant que : V_0 : la vitesse à l'instant t_0 .
 a : accélération.

Ainsi, la distance « S » parcourue en un certain temps est : $S = [(V + V_0) / 2] t^*$

Dans l'environnement opérationnel réel, le temps de compléter les différentes manœuvres varie d'un avion à un autre. Le temps d'alignement du seconde aéronef est plus souvent inférieur ou supérieur au temps du roulage au décollage de l'aéronef précédent (figure IV.12), ce qui entraîne un fonctionnement inefficace de la piste, c'est-à-dire ; un retard dans le premier cas (a) ou la perte de l'utilisation de la piste dans le second cas (b).

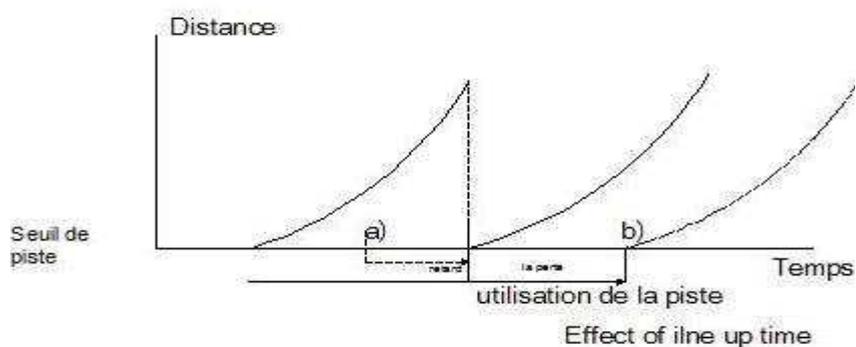


Figure IV.12 : Effet du temps d'alignement*

IV.11.2 Un arrivé suivi par un départ :

Un aéronef au départ peut être autorisé à une position de décollage une fois l'avion qui atterrit a franchi le seuil de piste. L'autorisation de décollage est donnée seulement quand l'aéronef qui atterrit quitte la piste.

Dans ce cas ; le temps d'alignement est plus court ou plus long que le temps d'occupation de piste d'atterrissage, crée le retard (a) ou la perte de l'utilisation de la piste (b), respectivement.

Pratiquement il existe des sorties de piste (en particulier les voies de sortie rapide) pour réduire le temps d'occupation de piste pour l'atterrissage des avions, donc une séparation plus courte arrivée-départ peut être atteinte si le temps d'alignement n'est pas un facteur limitant.

* Abdelouahab,F,H. (1990). The impact of the microwave landing system on runway capacity at regional airports.

initier le roulis au décollage. Ce temps est justifiée parce que les moteurs à réaction utilisés dans les avions de transport prennent quelques secondes pour «la montée » et pour générer une poussée totale. Soit « τ » le temps de retard (en secondes) pour l'aéronef au départ.

Lorsque l'ajout du temps de retard l'équation (15) devient :

$$(T_{ij} + B_{ij}) = \frac{\delta}{v_j} + ROT_i + (n - 1) \varepsilon_{ij} + \tau \quad (16)$$

Étant donné $(T_{ij} + B_{ij})$ est calculé comme une valeur prévue dans l'analyse pour les arrivées seulement,

$$E(T_{ij} + B_{ij}) \geq E\left(\frac{\delta}{v_j}\right) + E(ROT_i) + (n - 1)E(\varepsilon_{ij}) + E(\tau) \quad (17)$$

L'utilisation de l'équation (17) nous permet d'estimer si les écarts naturelles laissés par les arrivées successives (exprimé en tant que la valeur prévue de $(T_{ij} + B_{ij})$) est assez grand pour planifier les « n » départs.

L'utilisation pratique de l'équation (17) est de comparer les intervalles réels entre les arrivées successives $(T_{ij} + B_{ij})$ contre la somme de tous les quatre termes dans le côté droit de l'équation (17). Nous faisons cela pour différents scénarios possibles de départ qui incluent « n » départs (typiquement 1, 2, 3, ... 6).

➤ Pour les séparations VMC :

- Dans les conditions météorologiques visuelles, Les pilotes sont censés être responsables des séparations.
- Les données collectées sur les aérodromes aux États-Unis indiquent que les séparations VMC sont de 10% inférieurs à ceux observés dans les conditions IMC.

Par conséquent :

- Les pistes ont plus de capacité dans les conditions VMC pour la même composition de la flotte mixte.
- Une plus grande utilisation de la piste est possible dans les conditions VMC.
- Le temps d'occupation de la piste et les séparations VMC de l'espace aérien sont plus proches en magnitude.

IV.13 Le temps d'occupation de piste :

Du fait que le temps d'occupation des pistes (TOP) est un facteur critique dans l'analyse de la capacité de la piste, des nombreuses recherches adressent dans leur tentative pour améliorer l'utilisation opérationnelle des pistes.

➤ TOP d'atterrissage :

Est le temps passé sur une piste à partir du point de franchissement du seuil jusqu'à ce que l'avion dégage le plan imaginaire de la piste, (comprend le temps de déviation).

➤ TOP de départ :

Est le temps passé sur une piste à partir de l'autorisation du plan imaginaire de la piste jusqu'au le point de franchissement de seuil.

V_x : vitesse de sortie dans le cas de (1) ou la vitesse de roulage dans le cas de (2).

L'équation suivante donne la distance de freinage « D_3 » : $D_3 = (v_{ba2} - v_{x2}) / 2a_3^*$

IV.13.4 Le roulage :

Après la fin de l'action de freinage, l'aéronef roulis à une vitesse constante à la plus proche sortie de piste, après retour en arrière dans le cas où la sortie de piste est passée. Il est supposé que ce retour en arrière se produit à la fin de l'action de freinage pour les petits avions et à la fin de la piste pour les autres aéronefs. Le temps de roulage « t_4 » est estimée comme suit : $t_4 = v_x / D_4 + t_t^*$

Avec : v_x : la vitesse de roulage.

D_4 : distance à la plus proche sortie de piste.

t_t : le temps de compléter le retour en arrière, égal à zéro si la sortie de piste est encore plus loin le long de la direction d'atterrissage.

- **Note** : t_4 est égale 0 si l'aéronef libère la piste au cours de la phase de freinage.

IV.13.5 La sortie :

Est le temps « t_5 » pour quitter la piste et on le trouve par l'observation.

Le temps d'occupation de piste est la somme des temps pour compléter les différentes phases décrites ci-dessus : **TOP = $t_1+t_2+t_3+t_4+t_5$** *

IV.14 Conclusion :

D'après l'étude de ce chapitre nous trouvons que les méthodes analytiques de Dr.A.A.Trani - analyse temps-espace - sont les plus simples et rapides à utiliser ; donc nous avons choisi la méthode d'analyse espace-temps pour calculer la capacité de l'aéroport d'Alger « Houari Boumédiène » dans le chapitre suivant.

* Abdelouahab,F,H. (1990). The impact of the microwave landing system on runway capacity at regional airports.

Conclusion générale:

Les travaux menés dans le cadre de ce mémoire visaient un double objectif. Il s'agissait d'une part, d'étudier le projet de la nouvelle re-catégorisation dû à la turbulence de sillage et d'autre part, de faire une comparaison entre la capacité des deux pistes de l'aéroport d'Alger avec l'ancienne et la nouvelle re-catégorisation.

La première partie du mémoire c'est une description du phénomène de la turbulence de sillage et les différentes procédures pour l'éviter.

Dans la deuxième partie du mémoire, nous avons expliqué le projet « RECAT » et les différents problèmes liés aux quatre catégories de l'OACI.

Dans la troisième partie nous avons présenté les facteurs qui influent sur la capacité des pistes et nous avons proposé plusieurs méthodes pour l'évaluer (les modèles analytiques et les modèles basés sur la simulation), et nous avons appliqué la méthode la plus rapide à exécuter « l'Analyse Espace – Temps du Dr.A.Trani » sur les deux pistes de l'aérodrome d'Alger.

Les résultats obtenus à l'issue de cette étude restent des valeurs théoriques qui peuvent être supérieures ou inférieures aux valeurs réelles, qui dépendent de plusieurs paramètres tel que : les conditions météorologique.

La méthode utilisée lors de notre travail prend en considération les catégories de l'OACI (Lourd, Moyen, Léger) et les six catégories d'aéronefs qui sont classées par le RECAT (A, B, C, D, E, F) avec toutes les séparations existantes, leurs vitesses d'approche moyennes et le temps d'occupation de la piste pour chaque catégorie.

Les résultats montrent que la capacité des deux pistes pour les arrivées seulement avec atterrissage piste 09 et décollage piste 05 est de 37 mouvements par heure (RECAT) et 33 mouvements par heure (OACI).

Et pour les départs nous avons obtenu les résultats suivants : 31 mouvements par heures (RECAT) et 29 mouvements par heure (OACI).

Pour la deuxième configuration les résultats montrent que la capacité des deux pistes pour les arrivées seulement avec atterrissage piste 23 et décollage piste 27 est de : 36 mouvements par heure (RECAT) et 32 mouvements par heure (OACI).

Nous avons constaté que pour augmenter la capacité de notre aérodrome, il faut appliquer la première phase de la nouvelle technologie « RECAT » qui gère les six classes de la turbulence de sillage sans outils de gestion pour les contrôleurs.

Comme perspectives futures et dans la suite de notre travail, nous proposons de compléter ce travail en prenant en considération les deux phases suivantes du projet « RECAT » pour augmenter le débit de la capacité des pistes de l'aéroport d'ALGER vue que le transport aérien joue aujourd'hui un rôle majeur comme moteur de développement économique et social .

Annexe A : La méthode des trois segments pour le calcul du TOP

La méthode des trois segments permet de déterminer la distance totale requise du seuil de piste au point de dégageage (point où l'avion quitte l'axe de la piste).

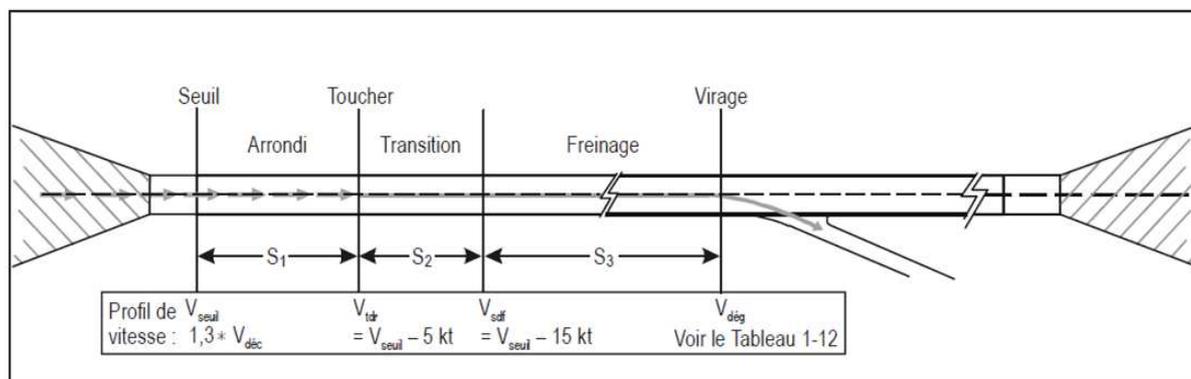


Figure : Les trois segments nécessaires pour le calcul du TOP*

Cette méthode permet également de calculer les temps d'occupation des pistes, notamment concernant les espacements entre avions au départ et à l'atterrissage.

Ces trois segments sont calculés séparément.

Le Manuel de Conception des Aéroports (Doc 9157 part 2, page 1-34) précise le contenu de chacun des segments où figurent essentiellement les distances et les vitesses :

➤ **Segment 1 :**

Distance nécessaire entre le seuil de la piste et le point de toucher des roues du train principal (S1) ;

➤ **Segment 2 :**

Distance nécessaire pour la transition depuis le toucher des roues du train principal jusqu'à l'établissement d'une configuration de freinage stabilisée (S2) ;

➤ **Segment 3 :**

Distance nécessaire pour la décélération en mode de freinage normal jusqu'à une vitesse de dégageage nominale (S3).

La distance S1 présente les catégories d'avions évoluant entre le début de la piste et le point de toucher des roues, les distances étant de 250 m pour les catégories classées 1 et 2 et 450 m pour les catégories 3 et 4, groupées en fonction de leur vitesse au passage du seuil de piste.

Pour la distance de transition (S2) ; le temps et les vitesses sont calculés entre le moment où l'avion se pose sur le train principal et le moment où débute le freinage à travers les freins des roues, les inverseurs de poussée et autres systèmes.

La distance de freinage (S3) jusqu'au virage de sortie de piste introduit le taux de décélération selon une équation basée sur les vitesses entre le serrage des freins et le dégageage de la piste.

Les temps d'occupation des pistes sont nécessaires pour le calcul de capacité aux aéroports, aux départs et aux arrivées des avions, selon les pistes en service.

* OACI. Manuel de conception des aéroports (Doc 9157). 2ème Partie. (Page 42).

Bibliographie:

Livres :

- **De neyville,R. Odoni,A,R. Belobaba,P. Reynolds,T.** (2013). Airports systems, planning design and managment. 2éme édition.
- **Direction Générale de l'Aviation Civile** (2005). Détermination de la capacité d'un aéroport.
- **Dr Antonio,A,Trani.** (2012). Airport Capacity.
- **Dr Antonio,A,Trani. Roa, J.** (22 Janvier 2015). Aircraft classifications, .
- **Dr A,A,Trani .Roa, J.** (2014).Air traffic control and runway separations.
- **Odoni,A,R.** (2014). Airfield Capacity.

Documents:

- **Abdelouahab,F,H.**(2014).Cours de gestion aéroportuaire.
- **Eurocontrol.** (27/02/2015).European wake turbulence categorization and separation minima on approach and departure.1ére edition.
- **FAA, Eurocontrol.** (20/06/2011). Presentation on Wake Turbulence Re-Categorization Phase I Methodology and Safety Case.
- **Forrest.J.** (13/05/2014). Wake Turbulence Recategorization.
- **OACI.** Annexe 14 : Aérodromes. Volume I : Conception et exploitation technique des aérodromes. Sixième édition Juillet 2013.
- **OACI.** (14/03/2007). Conditions D'homologation Et Procédures D'exploitation Des Aérodromes – Annexe A.
- **OACI.** Exploitation technique des aéronefs (Doc 8186). Volume II : Construction des procédures de vol à vue et de vol aux instruments. Cinquième édition 2006.
- **OACI.**(14/03/2007).Conditions d'homologation et procédures d'exploitation des aérodromes.
- **OACI.** Manuel de conception des aérodromes (Doc 9157). 1ére Partie : pistes. Quatrième édition 2006.
- **OACI.** Manuel de conception des aérodromes (Doc 9157). 2éme Partie : voie de circulation, aires de trafic et plates-formes d'attente de circulation. Quatrième édition 2005.
- **OACI.** Manuel de gestion du trafic aérien (Doc 4444). 15éme édition 2007.
- **OACI.** Manuel de planification des services de la circulation aérienne (Doc 9426). Première édition 1984.

Bibliographie

- **SIA Algérie.** AIP Algérie. Partie aérodrome. 20 Mars 2014.
- **Treve,V. Rooseleer.F.** (13/05/2014). RECAT-EU proposal, validation and consultation.
- **U.S Department of transportation. FAA.** (01/03/2015). Air Traffic Organization Policy : Wake Turbulence Recategorization. Order JO : 7110.659B.
- **U.S Department of transportation. FAA.** (01/06/2014). Air Traffic Organization Policy : Wake Turbulence Recategorization. Order JO : 7110.659A.
- **U.S Department of transportation. FAA.** (02/10/2014). Aircraft Wake Turbulence. AC No : 90- 23G.
- **U.S Department of transportation. FAA.** (26/02/2014). Airport Design. AC No : AC 150/5300-13A.
- **U.S Department of transportation. FAA.** (08/01/2015) Aeronautical Information Manual. 2ème édition.
- **U.S Department of transportation. FAA.** (01/06/2014). Wake Turbulence Recategorization.

Theses:

- **Abdelouahab,F,H.** (1990). The impact of the microwave landing system on runway capacity at regional airports.
- **Kaid Samir et Merabet Sofiane.** (2009). Etude et évaluation de la capacité piste pour l'aérodrome Houari Boumediène d'Alger, dirigé par MME. Ben khedda, Mémoire d'ingénieur d'état en aéronautique, Université Blida 1.
- **Cristian Emil Moldoveanu.** (18 décembre 2007). Simulation des grandes échelles de tourbillons longitudinaux soumis à une turbulence extérieure intense, Dirigé par Henri - Claude Boisson et Florentin Moraru, Thèse pour obtenir le titre de docteur, Institut de Mécanique des Fluides – Toulouse.

Webographie :

- Aéroport d'Alger Houari Boumediene, Accès, [en ligne]: <https://fr.wikipedia.org/>. Consulté le 18/09/2015
- Aéroport d'Alger Houari Boumediene, Accès, [en ligne]: <https://www.google.dz/search?q=L'aérogare+internationale+d'Alger>. Consulté le 01/09/2015.
- Catégories des avions, [en ligne]: <http://www.skybrary.aero/index.php/Category:Aircraft>. consulté plusieurs fois (la dernière fois le 30/09/2015).
- Caractéristiques des avions, [en ligne]: http://www.skybrary.aero/index.php/Main_Page. consulté plusieurs fois (la dernière fois le 30/09/2015).