

République démocratique et populaire Algérienne

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Saad Dahleb – Blida

Institut d'aéronautique et des études spatiales

Département de navigation aérienne



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master en aéronautique

Spécialité : Exploitation aéronautique

**Mise en œuvre de l'ATFM dans
l'espace aérien Mauritanien :
Cas spécifique de l'aéroport de
Nouakchott**

Présenté par :

Mehdi Kacimi Benzahar
Mohamed Bouamatou Abdellahi

encadré par :

Mme Saliha bencheikh
Mme Addala Manel
Mr Abdelkader Deye

Année universitaire 2023/2024

Remerciement

Nos remerciements s'adresseront tout d'abord à ALLAH qui nous a donné la santé, le temps le courage et la volonté pour pouvoir accomplir ce modeste travail.

Avant d'entamer la présentation de ce travail, nous tenons également à remercier :

- Nos promotrices Madame Saliha Bencheikh chef département Navigation Aérien à l'institut Aéronautique de BLIDA, pour toutes ses remarques pertinentes et ses orientations efficaces qui ont conduit à la réalisation de ce document ;
- Ainsi que Madame Addala Manel, pour ses précieux conseils, ses suggestions, ses corrections et ses aides durant toute la période du travail.
- Notre encadreur Monsieur Abdelkader Deye, pour la confiance qui nous a accordé en nous proposant ce sujet de mémoire et pour sa disponibilité, son soutien, et son encouragement.
- Les membres du jury, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant d'examiner ce projet et de l'enrichir par leurs propositions.
- Tout le corps professoral de l'institut d'aéronautique de Blida qui a contribué à notre formation au sein de l'institut d'aéronautique et des études spatiales ; Ainsi que tous nos proches, familles et amis qui ont également participé, à leur manière, à la réalisation de ce mémoire.

Résumé

L'augmentation exponentielle du trafic aérien mondial a conduit l'OACI à élaborer des plans pour gérer les flux de trafic.

La norme 3.7.5.1 de l'Annexe 11 stipule qu'une gestion des courants de trafic aérien (ATFM) doit être mise en place pour l'espace aérien où la demande dépasse ou est prévue de dépasser la capacité des services de contrôle de la circulation aérienne concernés.

Le plan mondial de navigation aérienne (GANP) inclut, via l'élément ASBU NOPS-B0/5, la fourniture d'une attribution dynamique des créneaux ATFM, y compris la CTOT pour les vols réguliers afin de prévenir les encombrements.

Ce projet de fin d'étude, intitulé "la mise en oeuvre de l'ATFM dans l'espace aérien de la Mauritanie", vise à expliquer le service ATFM et à établir une méthodologie pour déterminer la CTOT dans le cadre de l'implémentation de l'ATFM à l'ASECNA, actuellement en cours d'étude.

Abstract

The exponential growth of global air traffic has led ICAO to develop plans to manage traffic flows.

Standard 3.7.5.1 of Annex 11 stipulates that air traffic flow management (ATFM) must be implemented in airspace where traffic demand exceeds or is expected to exceed the capacity of the relevant air traffic control services.

The Global Air Navigation Plan (GANP) includes, through ASBU element NOPS-B0/5, the provision of dynamic ATFM slot allocation, including CTOT for regular flights, to prevent congestion.

This final project, titled "Implementation of ATFM in Mauritanian Airspace," aims to explain the ATFM service and establish a methodology for determining CTOT as part of the implementation of ATFM at ASECNA, currently under study.

ملخص

دفعت الزيادة الهائلة في الحركة الجوية العالمية منظمة الطيران المدني الدولي إلى وضع خطط لإدارة تدفقات الحركة . ينص المعيار 3.7.5.1 من الملحق 11 على إنشاء إدارة تدفق الحركة الجوية (ATFM) للمجال الجوي حيث يتجاوز الطلب على الحركة الجوية في بعض الأحيان، أو من المتوقع أن يتجاوز، السعة المعلنة لخدمات مراقبة الحركة الجوية المعنية. تتضمن الخطة العالمية للملاحة الجوية (GANP)، من خلال عنصر ASBU NOPS-B0/5، توفير التخصيص الديناميكي لفتحات ATFM، بما في ذلك CTOT للرحلات المجدولة لمنع الازدحام. وفي هذا السياق يهدف هذا المشروع الذي يحمل عنوان "تنفيذ ATFM في المجال الجوي لموريتانيا"، إلى شرح خدمة ATFM ووضع منهجية لتحديد CTOT كجزء من تنفيذ ATFM في ASECNA والذي هو قيد الدراسة بالفعل

Tables des matières

| | |
|---|----------|
| Introduction générale..... | 1 |
| I. Chapitre I : La mise en œuvre d'un service de gestion des flux de trafic aérien | 4 |
| I.1 Introduction..... | 4 |
| I.2 La gestion des courants de trafic Aérien (ATFM) | 5 |
| I.2.1 Principes et objectifs de l'ATFM | 5 |
| I.2.1.1 Principes de gestion des flux de trafic aérien..... | 5 |
| I.2.1.2 Objectifs..... | 6 |
| I.2.2 L'ATFM dans le plan Mondial de navigation aérienne (GANP) | 7 |
| I.2.3 Avantages de l'ATFM | 8 |
| I.2.3.1 Avantages opérationnels..... | 8 |
| I.2.3.2 Avantages sociaux | 8 |
| I.2.4 Détermination de la capacité d'un secteur d'espace aérien et d'un aéroport | 9 |
| I.2.4.1 Notion de la capacité..... | 9 |
| I.2.4.2 Détermination de la capacité | 9 |
| I.2.5 Planification ATM à l'ATFM post opérations..... | 13 |
| I.2.5.1 Planification ATM | 14 |
| I.2.5.2 Exécution de l'ATFM..... | 16 |
| I.2.6 Solutions ATFM..... | 19 |
| I.2.6.1 Optimisation de la capacité..... | 20 |
| I.2.6.2 Mesures ATFM..... | 20 |
| I.2.6.2.1 Vols exemptés des mesures ATFM : | 25 |
| I.2.7 Rôle et responsabilités des parties prenantes d'un service ATFM..... | 25 |
| I.2.7.1 FMU/FMP | 26 |
| I.2.7.2 Usagers de l'espace aérien | 27 |
| I.2.7.3 Organismes ATS..... | 28 |
| I.2.7.4 Exploitants d'aéroports | 28 |
| I.2.7.5 Fournisseur de services météorologiques..... | 29 |
| I.2.7.6 Les États..... | 29 |
| I.2.8 Attribution et responsabilité pour les mesures ATFM | 29 |
| I.2.8.1 Facteurs sous le contrôle de l'ANSP | 30 |
| I.2.8.2 Facteurs sous le contrôle de l'État | 30 |
| I.2.8.3 Facteurs sous le contrôle de l'aéroport..... | 30 |
| I.2.8.4 Facteurs sous le contrôle des usagers de l'espace aérien..... | 31 |

| | |
|--|-----------|
| I.2.9 Détermination du concept des opérations | 31 |
| I.2.9.1 ATFM national | 31 |
| I.2.9.2 ATFM régional | 31 |
| I.2.9.3 ATFM transfrontières multi-nodale..... | 32 |
| I.2.10 La Congestion du Trafic Aérien..... | 32 |
| I.2.10.1. Types de Congestion Aérienne..... | 33 |
| I.2.10.2 Les causes de la congestion aérienne | 33 |
| I.3 La prise de décision en collaboration (CDM)..... | 33 |
| I.3.1 Les différents acteurs de la CDM dans un environnement collaboratif..... | 35 |
| I.3.2 Mise en œuvre d'un processus CDM..... | 36 |
| I.3.2.1 Identification du besoin de CDM..... | 36 |
| I.3.2.2 Analyse CDM | 36 |
| I.3.2.3 Spécification et vérification du processus CDM | 36 |
| I.3.2.4 Dossier de performances CDM..... | 37 |
| I.3.2.5 Validation et mise en œuvre de la CDM..... | 37 |
| I.3.2.6 Fonctionnement, maintenance et amélioration de la CDM..... | 37 |
| I.3.3 Description de la prise de décision en collaboration (CDM) | 37 |
| I.3.4 Domaines D'application (CDM) | 38 |
| I.3.5 Prise de décision collaborative (CDM) dans le contexte de l'ATFM | 40 |
| I.4. Conclusion | 40 |
| II. Chapitre II : Allocation des créneaux (SLOTs Allocation) | 43 |
| II.1 Introduction..... | 43 |
| II.1.1 La définition des créneaux..... | 43 |
| II.1.2 Classifications des aéroports | 43 |
| II.1.2.1 Aéroports de niveau 1 (level 1 airports)..... | 44 |
| II.1.2.2 Aéroports de niveau 2 (level 2 airports)..... | 44 |
| II.1.2.3 Aéroports de niveau 3 (level 3 airports)..... | 44 |
| II.2 Processus d'allocation de créneaux | 45 |
| II.2.1 Créneaux stratégiques d'aéroports..... | 45 |
| II.2.1.1 Aéroports coordonnés..... | 45 |
| II.2.1.2 Processus d'attribution de créneaux stratégiques aéroportuaires..... | 46 |
| II.2.2.1 Mise en œuvre de créneaux basé sur mesure ATFM..... | 47 |
| II.2.2.2 Processus d'attribution de créneaux de contrôle du trafic aérien..... | 47 |
| II.2.2.3 Calcul du CTOT..... | 49 |
| II. 3 Méthodologies de calcul du CTOT | 50 |

| | |
|--|-----------|
| II.3.1 La FAA (Federal Aviation Administration) | 50 |
| II.3.2 Eurocontrol..... | 53 |
| II.3.2.1 Message d'allocation de slot (SAM) | 54 |
| II.3.2.2 Slot Revision Message (SRM) | 56 |
| II.3.2.3 Le champ REGUL..... | 57 |
| II.3.2.4 Le champ REGCAUSE | 58 |
| II.3.2.5 Slot Requirement Cancellation (SLC) Message..... | 58 |
| II.3.2.6 Ready (REA) Message | 59 |
| II.4 Conclusion | 60 |
| III. Chapitre III : Centre ATS de Nouakchott | 62 |
| III.1 Historique | 62 |
| III.2 Situation géographique | 62 |
| III.3 Organisation administrative | 63 |
| III.3.1 Activité exploitation aéroport | 64 |
| III.3.1.1 Unité CA..... | 64 |
| III.3.1.2 Unité AIM (Gestion de l'Information Aéronautique) | 64 |
| III.3.1.3 Unité SLI (Sauvetage et Lutte contre l'Incendie)..... | 64 |
| III.3.2 Activité Contrôle En Route | 64 |
| III.3.2.1 Exploitation TELECOM | 65 |
| III.3.2.2 Unité Opération ATC | 65 |
| III.3.2.3 Unité Qualification/Intégration du Personnel..... | 65 |
| III.3.3 Activité Météorologie..... | 65 |
| III.3.4 Activité Maintenance des Infrastructures Radioélectriques..... | 66 |
| III.3.5 Activité Maintenance des Infrastructures et Génie Civil..... | 66 |
| III.4 Plate-forme et Environnement..... | 66 |
| III.4.1 Plate-forme aéroportuaire | 66 |
| III.4.2 Environnement..... | 69 |
| III.4.2.1 CTR de Nouakchott..... | 69 |
| III.4.2.2 TMA de Nouakchott | 69 |
| III.4.2.3 UTA de Nouakchott | 69 |
| III.4.3 Espaces aériens Adjacents et Organismes voisins..... | 71 |
| III.4.4 Trafic..... | 72 |
| III.4.4.1 Lignes régulières..... | 72 |
| III.4.4.2 L'aviation générale | 72 |
| III.4.4.3 Aviation Militaire | 73 |

| | |
|---|-----------|
| III.5 Statistiques du trafic..... | 73 |
| III.6 Prévision du trafic..... | 77 |
| III.7 Capacité ATC du centre de Nouakchott | 78 |
| III.8 Méthodologie proposée de détermination du CTOT | 79 |
| III.8.1 Structure ATFM | 79 |
| III.8.2 Exemple illustratif..... | 80 |
| III.8.3 Recommandations pour la gestion opérationnelle de Nouakchott..... | 82 |
| Conclusion générale | 83 |

Liste des figures

Figure I.1 : Facteurs ayant une incidence sur la capacité aéroportuaire.

Figure I.2 : Facteurs ayant une incidence sur la capacité de l'espace aérien.

Figure I.3 : planification ATM et phases ATFM.

Figure I.4 : La mesure Re-Routing et la mesure Alternative route de l'ATFM.

Figure I.5 : La mesure de Level Capping de l'ATFM.

Figure I.6 : La mesure d'attente en vol l'ATFM.

Figure I.7 : Exemple de processus de sélection des mesures ATFM.

Figure I.8: concept proposé de réseau ATFM multi-nodal réparti.

Figure I.9 : l'information dans un environnement collaboratif.

Figure I.10 : Chronologie de la fourniture d'informations (extrait du concept FF-ICE).

Figure II.1 : intervalle CTOT.

Figure II.2 : Interface FSM.

Figure II. 3 : Interface site web EDCT.

Figure II. 4 : Allocation de créneaux FPFS.

Figure II.5 : IFPS Zone (IFPZ).

Figure II.6 : Message d'allocation de Slot (SAM).

Figure II.7 : Slot Revision Message (SRM).

Figure II.8 : Slot Requirement Cancellation (SLC) Message.

Figure II.9 : Ready message.

Figure III.1 : Carte d'atterrissage.

Figure III.2 : coupe verticale de la TMA de Nouakchott

Figure III.3 : UTA de Nouakchott

Figure III.4 : évolution du trafic ARR/DEP et survols.

Figure III.5 : évolution du trafic total.

Figure III.6 : Trafic par tranche horaire (2019).

Figure III.7 : Prévission du trafic.

Liste des tableaux

Tableau III.1 : caractéristiques des pistes.

Tableau III.2 : distances déclarées.

Tableau III.3 : caractéristiques des voies de circulation.

Tableau III.4 : Caractéristiques des aires de stationnement.

Tableau III.5 : organismes voisins à l'UTA de Nouakchott.

Tableau III.6 : les compagnies régulières à GQNO.

Tableau III.7 : les avions basés à GQNO.

Tableau III.8 : les avions militaires.

Tableau III.9 : Trafic par année à GQNO.

Tableau III.10 : Trafic par tranche horaire à GQNO.

Abréviations

AAR : Taux d'arrivée de l'aéroport (Airport Arrival Rate)

ACC : Centre de contrôle régional (Area Control Centre)

ADP : Plan quotidien d'ATFM (ATFM Daily Plan)

AFI : Région Afrique-Océan Indien (Africa-Indian Ocean Region)

AIM : Gestion de l'information aéronautique (Aeronautical Information Management)

AINO : Aéroport International de Nouakchott Oumtounsy

AN-CONF/11 La onzième Conférence de navigation aérienne (Air Navigation Conference)

ANSP : Fournisseur de services de navigation aérienne (Air Navigation Services Provider)

AOP : Exploitant d'aéroport (Airport Operator)

ASBU : Mise à niveau par blocs du système de l'aviation (Aviation System Block Upgrade)

ASECNA : Agence pour la Sécurité de la Navigation aérienne en Afrique et à Madagascar
ASM Gestion de l'espace aérien (Airspace Management)

ATC : Contrôle de la circulation aérienne (Air Traffic Control)

ATFM : Gestion des flux de trafic aérien (Air Traffic Flow Management)

ATM : Gestion du trafic aérien (Air Traffic Management)

ATS : Services de la circulation aérienne (Air Traffic Services)

AU : Usager de l'espace aérien (Airspace User)

CDM : Prise de décision en collaboration (Collaborative Decision-Making)

CLDT : Heure calculée d'atterrissage (Calculated Landing Time)

COBT : Heure calculée de départ du poste de stationnement (Calculated Off-Block Time)

CONOPS: Concept of operations

CTOT: Heure calculée de décollage (Calculated Take-Off Time)

EDCT : Heure prévue d'autorisation de départ (Expected Departure Clearance Time)

ETD : Heure de départ prévue (Estimated Time of Departure)

FAA : Federal Aviation Administration

FMP : Poste de gestion des flux de trafic aérien (Flow Management Position)

FMU : Organisme de gestion des flux de trafic aérien (Flow Management Unit)

FUA : Flexible Use of Airspace

GANP : Plan mondial de navigation aérienne (Global Air Navigation Plan)

GDP : Programme de retardement au sol (Ground Delay Programme)

GSt : Arrêt au sol (Ground Stop)

IATA : Association du transport aérien international (International Air Transport Association)

MDI : Intervalle minimal entre départs (Minimum Departure Interval)

MINIT : Séparation en minutes dans le sillage (Minutes-In-Trail)

MIT : Séparation en distance dans le sillage (Miles-In-Trail)

OACI : Organisation de l'aviation civile internationale

SLI : Sauvetage et Lutte contre l'Incendie

SWIM : Gestion de l'information à l'échelle du système (System-Wide Information Management)

WSG: Worldwide Slot Guidelines (IATA)

Introduction générale

Le secteur du transport aérien connaît une forte croissance mondiale et joue un rôle crucial dans l'économie mondiale. Cependant, ces dernières années, l'augmentation continue de la demande de trafic aérien sans une capacité de contrôle correspondante a entraîné des problèmes de congestion à la fois dans l'espace aérien et sur les plateformes aéroportuaires. Historiquement, une des solutions a été d'augmenter les capacités des secteurs de contrôle en recrutant du personnel supplémentaire, en introduisant des innovations techniques accompagnées de nouvelles méthodes de travail pour améliorer le rendement des contrôleurs, ainsi qu'en restructurant l'espace aérien. Ces mesures ont permis d'absorber plus de trafic tout en maintenant un niveau de sécurité élevé.

L'objectif de ces solutions est d'augmenter la capacité du système de contrôle pour gérer un trafic en constante évolution. Cependant, la croissance exponentielle de la demande de trafic aérien ces dernières années maintient le problème de congestion. Les organismes de gestion du trafic aérien se sont donc orientés vers une nouvelle approche pour réduire la congestion.

Pour répondre aux besoins variés des utilisateurs de l'espace aérien et aux exigences environnementales et autres problématiques, la norme 3.7.5.1 de l'annexe 11 stipule qu'une gestion des courants de trafic aérien (ATFM : Air Traffic Flow Management) soit mise en place dans les espaces aériens où la demande dépasse, ou va dépasser, la capacité déclarée des services de contrôle de la circulation aérienne.

Le nombre de vols dans le monde n'a cessé d'augmenter. Depuis les années 2000, cette augmentation a été régulière, atteignant 38,9 millions de vols en 2019. Cependant, en raison de la pandémie de coronavirus, ce nombre a chuté à 16,9 millions en 2020. La région AFI, et particulièrement l'espace géré par l'ASECNA, n'est pas une exception. [2]

Les statistiques de l'ASECNA montrent une croissance régulière du nombre de vols dans son espace aérien, atteignant 547 696 vols en 2019 par rapport à 437 837 en 2011, soit une augmentation de 125%. [14]

Contrairement à l'Europe et aux États-Unis, l'espace aérien africain, et plus spécifiquement celui géré par l'ASECNA, n'est pas encore saturé. Mais, les prévisions indiquent une possible saturation future. En réponse, l'ASECNA a entrepris de mettre en œuvre la gestion des flux de trafic aérien (ATFM) pour anticiper et résoudre ce problème avant qu'il ne se pose.

La gestion des flux de trafic aérien (en anglais Air Traffic Flow Management, universellement abrégé en ATFM), ou régulation du trafic aérien, est la partie de la gestion du trafic aérien qui vise à éviter la saturation des aéroports et des secteurs de contrôles en fixant les heures de décollage (CTOT) des vols à l'avance par un organisme de gestion des flux de trafic. Le plan mondial de navigation aérienne (GANP : Global Air Navigation Plan) prévoit à travers l'élément ASBU NOPS-B0/5 une attribution dynamique des créneaux ATFM, y compris le CTOT (Calculated Take-Off Time) pour les vols réguliers afin d'éviter les encombrements. Il s'avère donc nécessaire pour l'ASECNA de disposer d'une méthodologie de calcul du CTOT.

Objectif de l'étude :

Cette étude a pour objectifs de :

- Décrire le concept de l'ATFM, ses principes, les différentes phases, les acteurs impliqués, ainsi que les outils de gestion du trafic aérien ;
- Décrire les phases concernées par l'allocation des créneaux horaires (slots) ;
- Présenter les différentes méthodologies de détermination de la CTOT (Calculated Take-Off Time) dans le monde ;
- Décrire la configuration de l'espace aérien utilisé comme cadre d'étude, les zones de mouvements et leurs caractéristiques, ainsi que les statistiques du flux de trafic aérien (arrivées, départs, survols) ;
- Justifier le choix de la méthodologie de détermination de la CTOT ;
- Présenter les différents scénarios possibles, expliquer comment la CTOT peut être appliquée et présenter les résultats obtenus ;
- Préciser les avantages attendus de la mise en place de la CTOT.

Ce présent mémoire s'est articulé autour de trois chapitres :

- ❖ Chapitre I intitulé "La mise en œuvre d'un service ATFM" : il porte sur l'ensemble des étapes et mesures à prendre en compte pour la mise en œuvre de l'ATFM ;
- ❖ Chapitre II intitulé " Allocation des créneaux (SLOTs Allocation)" : il porte sur le processus d'allocation de créneaux aéroportuaires et créneaux ATC ;
- ❖ Chapitre III intitulé "Centre ATS de Nouakchott" : il porte sur une description de la plateforme aéroportuaire, l'environnement, les statistiques du trafic au niveau du centre et la méthodologie proposée de détermination du CTOT.

Chapitre I : La mise en œuvre d'un service de gestion des flux de trafic aérien

I. Chapitre I : La mise en œuvre d'un service de gestion des flux de trafic aérien

I.1 Introduction

Le contrôle du trafic aérien était considéré comme un service de sécurité, dont il fallait supporter les contraintes, au demeurant relativement légères, en termes de coûts et de retards. Ce n'est que dans les années 80 qu'il a commencé à être ressenti comme un facteur limitatif. En effet, on avait cru jusqu'alors que le développement de l'aviation se limite à l'augmentation de la capacité des infrastructures au niveau des aéroports (nombre de pistes, postes de stationnement...) sans tenir compte de la possible saturation des espaces aériens.

En 1986, 12 % seulement des vols intra-européens enregistraient un retard supérieur à 15 minutes (toutes causes confondues, congestion, ATC, météo, compagnie, aéroport, etc.). Ils étaient 20 % en 1988 et 25 % en 1989, cet accroissement étant dû essentiellement à la congestion des infrastructures et à la saturation des secteurs de contrôle.

Cette situation a été jugée inacceptable en raison des coûts supplémentaires directs des retards pour les compagnies aériennes, ainsi que des millions d'heures perdues pour les voyageurs et de la détérioration de la réputation du transport aérien à une époque où la concurrence des autres modes de transport était plus intense.

Dans les années 1990, l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a introduit le concept de prise de décision en collaboration (CDM) pour faciliter la coopération entre les compagnies aériennes, les aéroports et les fournisseurs de services de navigation aérienne (ANSP) afin d'améliorer la fluidité du trafic aérien.

En 2001, l'Union européenne a rendu obligatoire la mise en œuvre du système européen de gestion des flux de trafic aérien (EATFM). Depuis, l'ATFM a évolué avec les progrès technologiques et la croissance mondiale du trafic aérien. Actuellement, il s'agit d'un élément essentiel du système de gestion du trafic aérien, qui équilibre la demande par rapport à la capacité pour créer un flux de trafic plus ordonné et plus rapide.

La problématique de l'ATFM est à la fois simple à appréhender et difficile à résoudre : le trafic aérien connaît une croissance soutenue alors que l'espace aérien disponible reste grossièrement le même.

L'ATFM utilise un processus de prise de décision en collaboration avec toutes les parties prenantes (CDM). Ce processus CDM est un élément clé de toute stratégie ATFM, qui non seulement encourage une communication continue entre toutes les parties prenantes tout au long de toutes les phases de vol, mais permet également aux décideurs de partager plus facilement des informations pertinentes et de déterminer la solution ATFM adéquate à la situation de congestion présentée.

Dans ce chapitre, nous allons donc expliquer en détail les deux concepts : l'ATFM et la CDM.

I.2 La gestion des courants de trafic Aérien (ATFM)

La gestion des courants de trafic aérien est un service destiné à assurer la sécurité, l'ordre et l'efficacité du flux de la circulation aérienne. Elle vise à optimiser l'utilisation de la capacité de contrôle du trafic aérien (ATC) et à garantir que le volume de trafic est en adéquation avec les capacités déclarées par l'autorité compétente des services de la circulation aérienne (ATS).

Le service ATFM est instauré afin de permettre aux fournisseurs de services de navigation aérienne (ANSP) d'assurer efficacement le service requis en fonction des besoins opérationnels actuels et prévus, conformément à l'Annexe 11 — Services de la circulation aérienne, § 3.7.5.2. Il est recommandé que l'ATFM soit mise en œuvre sur la base d'accords régionaux de navigation aérienne ou, le cas échéant par voie d'accords multilatéraux. Ces accords devraient inclure des procédures et des méthodes communes pour la détermination de la capacité.

Un service ATFM bien conçu et appliqué améliore la performance de la gestion du trafic aérien (ATM) grâce à une organisation, un processus, une formation et une automatisation adaptés aux besoins opérationnels.

I.2.1 Principes et objectifs de l'ATFM

I.2.1.1 Principes de gestion des flux de trafic aérien

L'ATFM consiste à :

- Optimiser la capacité disponible des aéroports et de l'espace aérien sans compromettre la sécurité ;
- Maximiser les avantages opérationnels et l'efficacité globale tout en maintenant les niveaux de sécurité convenus ;

- Promouvoir une coordination et une collaboration opportunes et efficaces avec toutes les parties concernées ;
- Favoriser une collaboration internationale conduisant à un environnement ATM optimal et sans discontinuité ;
- Reconnaître que l'espace aérien est une ressource commune à tous les usagers et assurer l'équité et la transparence tout en tenant compte des besoins de sûreté et de défense ;
- Soutenir l'introduction de nouvelles technologies et procédures qui améliorent la capacité et l'efficacité du système ;
- Rehausser la prévisibilité, tant pour les ANSP que pour les usagers de l'espace aérien ;
- Aider à maximiser l'efficacité économique et le rendement de l'aviation, soutenir d'autres secteurs économiques tels que les affaires, le tourisme et le fret ;
- Progresser constamment pour soutenir un environnement aéronautique en perpétuelle évolution. [1]

I.2.1.2 Objectifs

L'ATFM a pour objectif de :

- Encourager la coopération entre les participants au système pour assurer un flux efficace de trafic aérien à travers plusieurs volumes d'espace aérien d'une manière flexible et opportune qui favorise la réalisation des objectifs commerciaux ou de mission des usagers de l'espace aérien et qui offre des choix opérationnels optimaux.
- Renforcer la sécurité du système ATM en maintenant des densités de trafic sûres et en réduisant au minimum les pointes de trafic.
- Concilier les contraintes de ressources du système ATM avec les priorités économiques et environnementales.
- Garantir un flux optimal de trafic dans toutes les phases de l'exécution d'un vol en équilibrant la demande et la capacité.
- Faire la part des besoins légitimes mais parfois conflictuels de tous les usagers de l'espace aérien, favorisant ainsi un traitement équitable.

- Faciliter la gestion des contraintes, des inefficacités et des événements imprévus qui affectent la capacité du système afin de minimiser les effets négatifs des perturbations et des conditions changeantes grâce à la collaboration entre toutes les parties impliquées.
- Faciliter la réalisation d'un système ATM sans discontinuité et harmonisé tout en assurant la compatibilité avec les développements internationaux. [1]

I.2.2 L'ATFM dans le plan Mondial de navigation aérienne (GANP)

L'évolution de la gestion du trafic aérien (ATFM), tout comme celle de la gestion de la circulation aérienne (ATM), est planifiée et décrite dans le Plan mondial de navigation aérienne (Doc 9750) ainsi que dans les mises à niveau par blocs du système de l'aviation (ASBU). Ce concept repose sur quatre domaines d'amélioration des performances (PIA) interconnectés, à savoir :

- L'exploitation des aéroports ;
- Les systèmes et les données interopérables à l'échelle mondiale ;
- La capacité optimale et les vols flexibles ;
- Les trajectoires de vol efficaces.

L'ATFM fait partie du PIA « capacité optimale et vols flexibles » du GANP. Ses capacités sont détaillées dans une série de modules formant le fil d'exploitation du réseau (NOPS), décrivant l'évolution des capacités de l'ATFM à travers les différents blocs successifs.

Le GANP trace la progression de la situation actuelle vers un avenir où les flux de trafic seront gérés par des outils avancés de gestion de la complexité, exploitant pleinement les capacités de gestion de l'information à l'échelle du système (SWIM). Cette évolution repose sur l'introduction progressive d'outils permettant une gestion dynamique par secteurs et une participation accrue des usagers à l'utilisation flexible du réseau.

Les principes directeurs du « premier arrivé, premier servi » et de « l'accès équitable à l'espace aérien » ont toujours été fondamentaux dans le système ATM et continuent de soutenir la logique de nombreux systèmes. Toutefois, le système ATM mondial évolue pour intégrer des principes visant à améliorer l'efficacité globale, l'impact environnemental et les coûts opérationnels. Pour soutenir cette évolution, le service ATFM doit s'adapter et adopter une logique différente, où les aéronefs « les plus capables » bénéficient de services améliorés pour optimiser la performance du système ATM.

De plus, l'accès équitable à l'espace aérien peut désormais être envisagé sur une échelle temporelle plus longue que le modèle traditionnel du « premier arrivé, premier servi ». Ces deux logiques sont progressivement intégrées dans l'ATM et l'ATFM.

Ainsi, le service ATFM et l'ensemble de l'ATM subiront des transformations significatives dans les prochaines années, visant à améliorer la capacité et l'efficacité opérationnelle pour répondre aux besoins croissants de l'aviation civile. [1]

I.2.3 Avantages de l'ATFM

Les avantages de l'ATFM se répartissent en deux catégories [1] :

I.2.3.1 Avantages opérationnels

Ces avantages concernent directement les aspects opérationnels, incluant :

- Renforcement de la sécurité du système de gestion du trafic aérien (ATM).
- Amélioration de l'efficacité et de la prévisibilité du système grâce aux processus de prise de décision collaborative (CDM).
- Gestion optimisée de la capacité et de la demande par l'analyse des données et la planification.
- Accroissement de la conscience de la situation parmi les parties prenantes, facilitant l'élaboration et l'exécution coordonnées et collaboratives des plans opérationnels.
- Meilleure ponctualité et réduction de la consommation de carburant et des coûts d'exploitation pour les usagers de l'espace aérien.
- Gestion efficace des irrégularités d'exploitation, réduction des contraintes du système et atténuation des conséquences d'événements imprévus.
- Fourniture de données post-opérationnelles sur les mouvements du trafic.

I.2.3.2 Avantages sociaux

Ces avantages concernent l'économie du transport aérien et le confort des voyageurs, incluant :

- Amélioration de la qualité des voyages aériens, notamment grâce à une meilleure information des voyageurs.

- Accélération du développement économique par la prestation de services efficaces et rentables pour un volume de trafic aérien accru.
- Réduction des émissions de gaz à effet de serre liées à l'aviation.
- Atténuation des effets des événements imprévus et des réductions de capacité, par une coordination de solutions efficaces et rapides pour rétablir la normalité.

I.2.4 Estimation de la capacité d'un secteur d'espace aérien et d'un aéroport

I.2.4.1 Notion de la capacité

La notion de capacité se réfère à la quantité maximale d'aéronefs pouvant être accueillis dans une zone aérienne spécifique ou sur un aéroport pendant une période définie, généralement une heure, tout en garantissant le maintien des niveaux de sécurité.

L'autorité ATS compétente doit donc déclarer la capacité de chaque zone d'espace aérien (comme une région de contrôle ou des secteurs) ainsi que des aérodromes. Cela permet aux organismes de contrôle d'anticiper les situations où la capacité pourrait être dépassée et de mettre en œuvre des mesures de gestion du trafic aérien (ATFM) pour réguler le trafic et réduire les déséquilibres entre la demande et la capacité. Par exemple, l'attribution du CTOT (calculated take-off time) est une mesure ATFM utilisée lorsque d'autres solutions pour résoudre les déséquilibres ne sont pas possibles.

I.2.4.2 Estimation de la capacité

La capacité d'un système ATM est soumise à une multitude de facteurs, tels que la densité et la complexité du trafic, la configuration des routes ATS, les capacités des aéronefs exploitant l'espace aérien, les conditions météorologiques, l'équipement de gestion du trafic aérien (ATM), de communication, navigation et surveillance (CNS), ainsi que la charge de travail des contrôleurs. Tout doit être fait pour fournir une capacité suffisante pour prendre en charge les niveaux de trafic normaux et les niveaux de pointe. L'autorité ATS, lorsqu'elle prend des mesures pour accroître la capacité, doit toujours veiller à ne pas compromettre la sécurité.

Le nombre d'aéronefs bénéficiant d'un service de contrôle de la circulation aérienne ne doit pas excéder la capacité sécuritaire de l'organisme ATS concerné. Pour déterminer le nombre maximal de vols pouvant être gérés sans risque, l'autorité ATS compétente doit évaluer et

annoncer la capacité des secteurs de contrôle (en route et terminal) ainsi que des aéroports ; c'est ce qu'on appelle la "capacité déclarée" de l'espace aérien ou de l'aéroport

L'établissement d'une règle universelle de calcul de la capacité serait extrêmement complexe, le nombre de variables et d'éléments externes qui influent sur la capacité sont si nombreux qu'il serait simplement impossible d'arriver à une normalisation. Il appartient donc à chaque ANSP/Autorité ATS de décider comment déterminer sa capacité en utilisant soit des méthodes de base fondées sur l'observation, soit des modèles mathématiques hautement sophistiqués.

Dans tous les cas, les limites de capacité peuvent être déterminées en se basant sur les observations du personnel de contrôle, les rapports d'incidents où une charge de travail élevée est impliquée, ainsi que les observations en temps réel.

On distingue une capacité aéroportuaire et une capacité de l'espace aérien.

❖ **Capacité aéroportuaire**

La capacité ATM d'un aéroport est généralement définie comme le nombre total de mouvements qu'un aéroport peut gérer sur une période donnée. Cette capacité dépend des éléments suivants :

- Le taux d'acceptation des arrivées et des départs ;
- Les pistes en service et les types de mouvements (arrivées et départs mixtes ou indépendants) ;
- La séparation requise ;
- La vitesse des aéronefs ;
- La composition de la flotte ;
- Le temps d'occupation des pistes ;
- L'infrastructure de l'aérodrome (par exemple, la disponibilité des postes de stationnement et l'encombrement de l'aire de mouvement). [2]

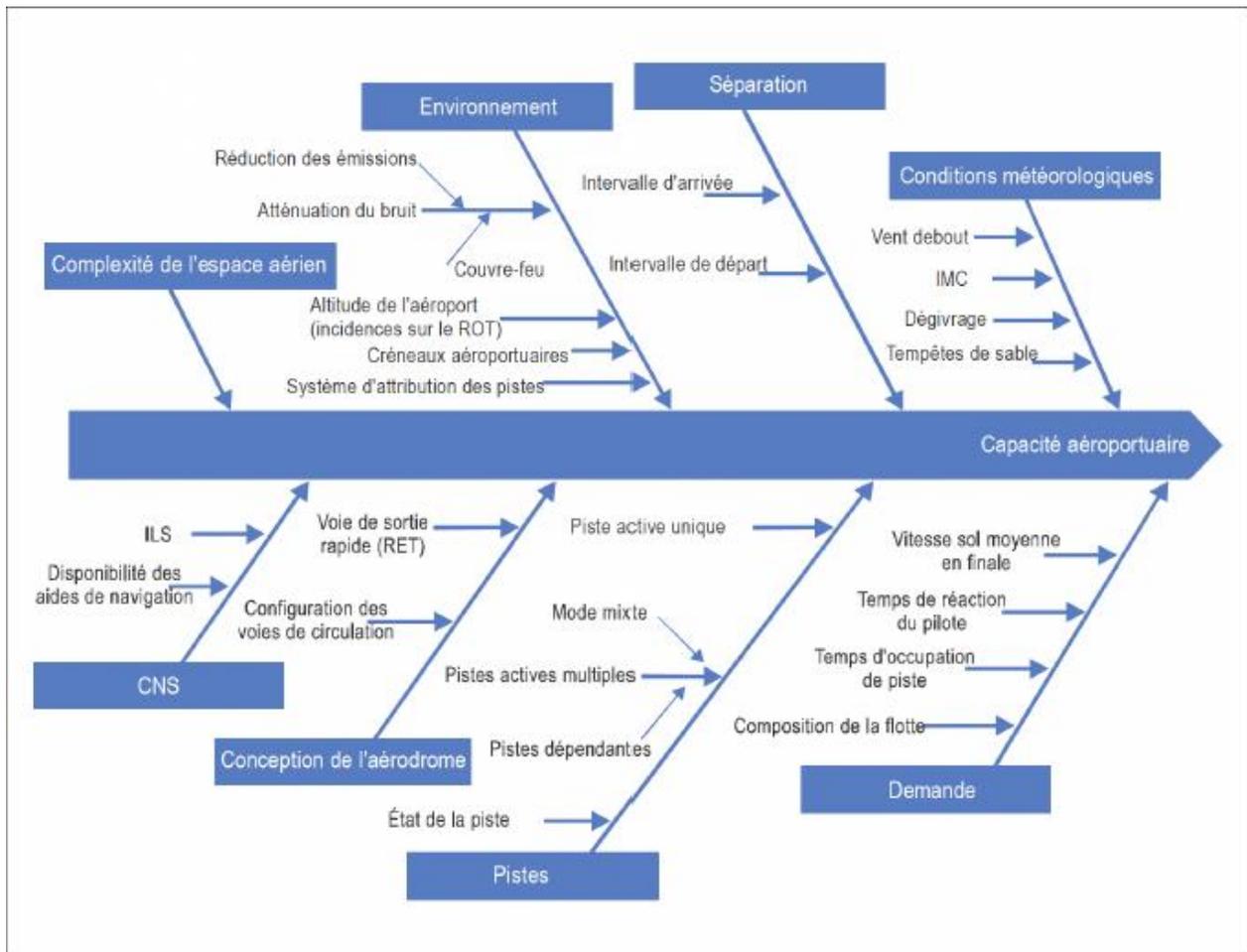


Figure I.1 : Facteurs ayant une incidence sur la capacité aéroportuaire. [2]

❖ Estimation du taux d'acceptation de l'aéroport (AAR)

Taux d'acceptation de l'aéroport (AAR), c'est un paramètre dynamique spécifiant le nombre d'aéronefs à l'arrivée qu'un aéroport, avec l'espace aérien de région terminale, l'espace sur l'aire de trafic, les postes de stationnement et les installations terminales, peut accepter dans des conditions spécifiques au cours de toute périodes de 60 minutes consécutives. Pour avoir l'AAR il faut diviser la vitesse sol moyenne en nœuds au passage du seuil de piste par l'intervalle de séparation au seuil de piste en milles marins, soit la formule suivante [2] :

$$AAR = \frac{\text{vitesse sol moyenne en nœuds au passage du seuil de piste}}{\text{intervalle de separation au seuil de piste en milles marins}}$$

❖ Capacité de l'espace aérien

La capacité d'un secteur d'espace aérien (qu'il soit terminal ou en route) se mesure soit par le nombre maximal d'aéronefs entrant dans ce secteur sur une période donnée, soit par

l'occupation maximale sur une période spécifique (par exemple, 15 minutes). Elle représente le nombre total de vols qu'un contrôleur peut traiter à l'intérieur d'un secteur.

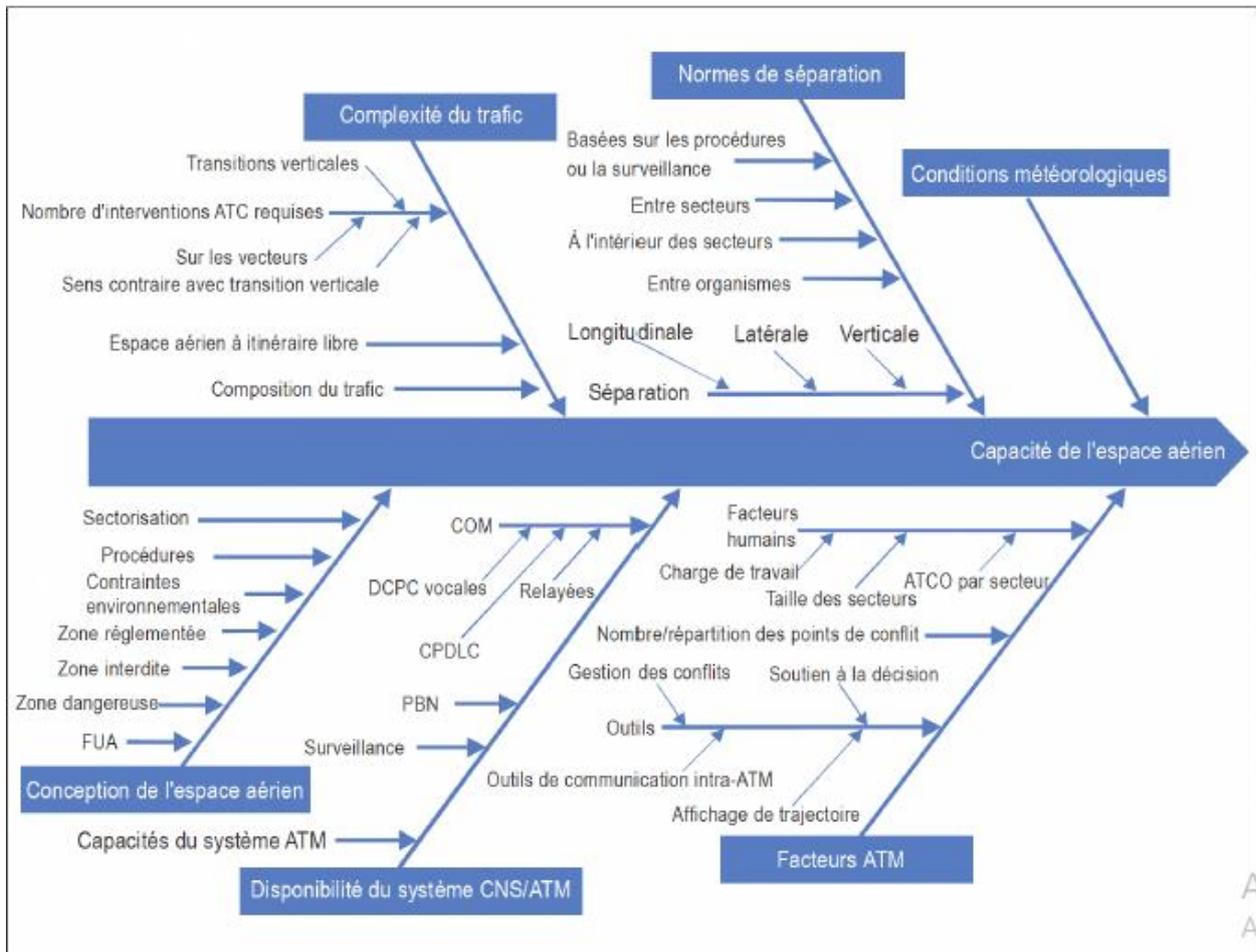


Figure I.2 : Facteurs ayant une incidence sur la capacité de l'espace aérien. [2]

❖ Estimation de la capacité d'un secteur

La formule utilisée pour déterminer la capacité du secteur repose sur deux hypothèses :

- Les secteurs fonctionnent au mieux lorsqu'ils traitent 25 aéronefs au maximum pendant toute période de 15 minutes ;
- Les secteurs fonctionnent au mieux lorsqu'ils ne traitent pas plus de 18 aéronefs durant toute période de 1 minute. Il ressort de l'hypothèse des 25 aéronefs que chaque aéronef requiert 36 secondes de temps de contrôleur (15 minutes x 60 secondes = 9 000 secondes. $9\,000 \text{ secondes} \div 25 \text{ aéronefs} = 36 \text{ secondes}$), la capacité de secteur est déterminée en utilisant le temps de vol moyen dans le secteur, en minutes, de 7 h à 19 h du lundi au vendredi, pour toute période de 15 minutes, soit la formule suivante [2] :

$$\text{Capacité de secteur optimale} = \frac{(\text{temps de vol moyen dans le secteur en minutes}) \times (60 \text{ secondes})}{36 \text{ secondes}}$$

En plus de la capacité déclarée des aéroports et des espaces aériens, les services ATFM doivent connaître la capacité opérationnelle, qui correspond à la capacité prévue en fonction de la situation tactique de l'aéroport ou de l'espace aérien. Cette capacité peut être inférieure à la capacité déclarée en raison de facteurs dynamiques, tels que les conditions météorologiques, l'état des systèmes CNS, la composition des flottes ou les effectifs.

I.2.5 Planification ATM à l'ATFM post opérations

Une méthodologie pour équilibrer la demande et la capacité devrait être élaboré afin de minimiser les effets des contraintes imposées au système ATM, ceci peut être accompli en mettant en œuvre un processus de « planification et de gestion ATFM ».

Il s'agit d'un processus interactif de planification de la capacité et de l'espace aérien, dans lequel les exploitants d'aéroports, les ANSP, les usagers de l'espace aérien, les autorités militaires et d'autres parties prenantes collaborent pour améliorer le fonctionnement du système ATM. (Voir Figure 3).

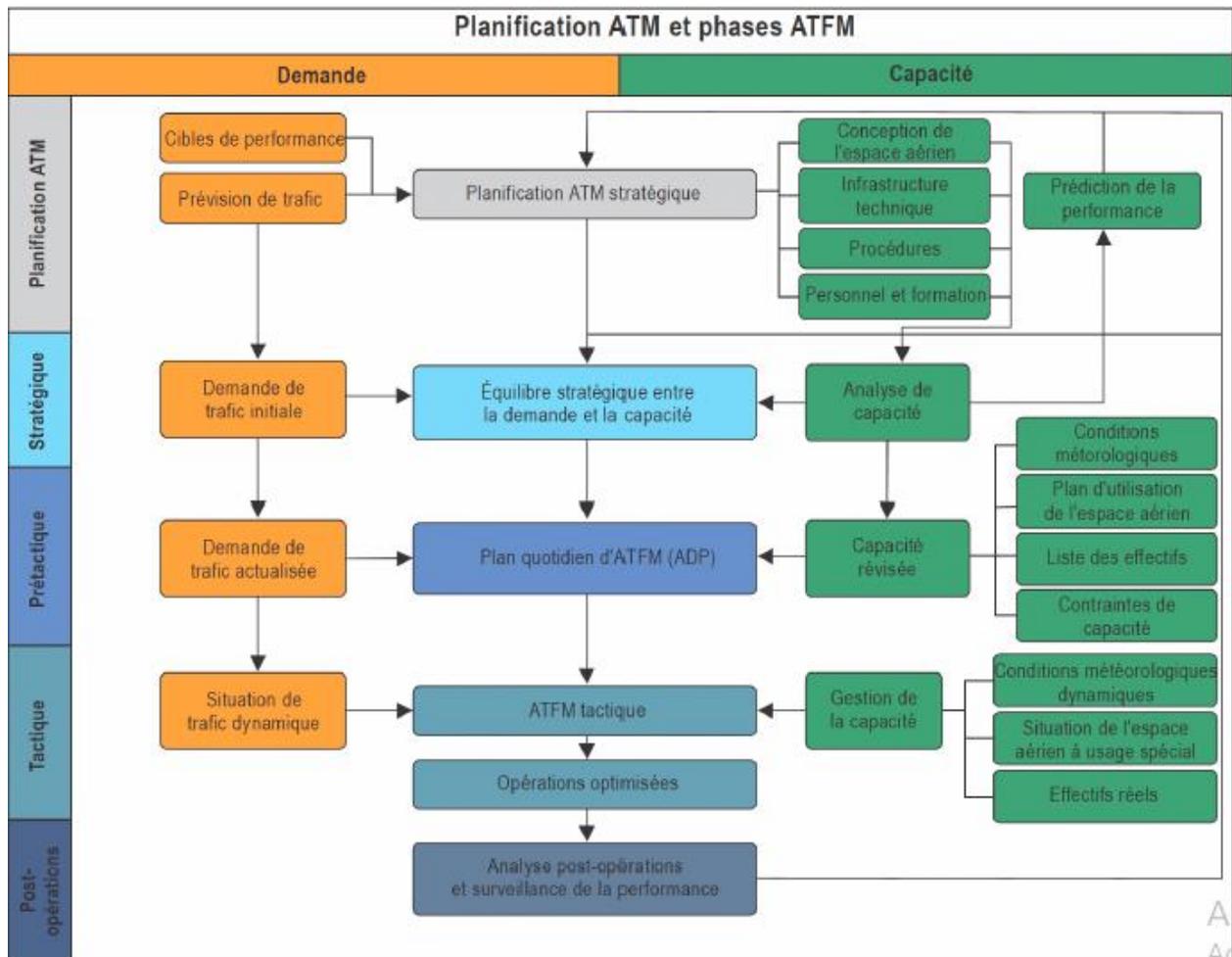


Figure I.3 : planification ATM et phases ATFM. [1]

Les utilisateurs de l'espace aérien peuvent maximiser leur participation au processus ATM grâce au processus CDM tout en atténuant les incidences des contraintes sur la capacité de l'espace aérien et la capacité aéroportuaire.

Il permet également de tirer pleinement profit des avantages d'une meilleure intégration de la conception de l'espace aérien, de la gestion de l'espace aérien (ASM) et de l'ATFM. Le processus comporte trois phases d'importance égale : la planification ATM, l'exécution de l'ATFM et l'analyse post-opérations.

I.2.5.1 Planification ATM

Trois composantes de la planification ATM doivent alimenter le système ATFM : les prévisions de trafic, les cibles de performance et le résultat général de la planification ATM.

La phase de planification ATM est donc une étape préparatoire, comprenant notamment les éléments suivants :

- Analyser la conception de l'espace aérien (structure des routes et secteurs ATS) et les politiques d'utilisation de l'espace aérien pour rechercher des améliorations potentielles de la capacité ;
- Revoir l'infrastructure technique pour évaluer la possibilité d'améliorer la capacité. Ceci est généralement accompli en mettant à niveau divers outils de support ATM ou en activant une infrastructure de navigation, de communication ou de surveillance ;
- La révision et la mise à jour des procédures ATM en fonction des changements apportés à la conception de l'espace aérien et à l'infrastructure technique ;
- Examiner les pratiques de dotation en personnel pour évaluer la possibilité d'accorder les ressources humaines avec le volume de travail et la nécessité d'ajuster les niveaux d'effectifs. [3]

Une telle analyse permettra de mesurer l'ampleur d'éventuels déséquilibres entre la demande et la capacité. Des mesures correctives pourraient alors être nécessaires pour remédier à ces déséquilibres. Cependant, avant de les mettre en œuvre, il est crucial de :

A) établir une représentation précise de la demande de trafic prévue en collectant, regroupant et analysant les données de trafic aérien, en tenant compte de l'importance de :

- Surveiller les aéroports et les espaces aériens afin de quantifier la demande excessive et les variations significatives dans :
 - Prévission de la demande ;
 - Objectifs de performance du système ATM ;
 - Obtenir des données sur la demande provenant de diverses sources comme :
 - Comparaison de l'historique de trafic récent (par exemple, comparaison du même jour de la semaine précédente ou comparaison de périodes saisonnières de forte demande) ;
 - Les tendances du trafic fournies par les autorités nationales, les organisations d'utilisateurs (par exemple, l'Association du transport aérien international (IATA)) ; et
 - D'autres informations connexes (par exemple, spectacles aériens, grands événements sportifs, manœuvres militaires à grande échelle) ;

B) prendre en considération la complexité et le coût de ces mesures afin d'assurer des performances optimales, non seulement du point de vue de la capacité mais aussi du point de vue économique (et de la rentabilité).

La phase suivante, l'exécution de l'ATFM, s'appuie sur la capacité déclarée de l'ATC. Elle a pour objectif de faciliter la fourniture de services ATM optimaux.

I.2.5.2 Exécution de l'ATFM

Les phases d'exécution de l'ATFM ne doivent pas être vues comme des étapes distinctes, mais plutôt comme un cycle continu de planification, d'action et d'évaluation, entièrement intégré dans la planification ATM et les processus post-opérationnels. Il est crucial que les parties prenantes opérationnelles soient pleinement impliquées à chaque étape.

On distingue quatre phases [1] :

❖ Phase stratégique :

La phase stratégique de l'ATFM englobe généralement les mesures prises plus d'une semaine avant le jour de l'opération, souvent deux mois ou plus à l'avance.

Cette phase met en œuvre les résultats des activités de planification d'ATM. Elle profite du dialogue accru entre les usagers de l'espace aérien et les fournisseurs de capacité, tels que les ANSP et les aéroports, pour analyser les restrictions d'espace aérien, d'aéroport et d'ATS, les changements saisonniers des conditions météorologiques et les phénomènes météorologiques significatifs.

L'objectif est d'identifier dès que possible toute divergence entre la demande et la capacité afin de définir conjointement des solutions minimisant l'impact sur les flux de trafic.

Ces solutions sont flexibles et peuvent être ajustées en fonction de la demande prévue.

Cette phase doit inclure :

- Une collecte de données et un processus d'interprétation continus, comportant un examen systématique et régulier des procédures et des mesures ;
- Un processus d'examen de la capacité disponible ;
- Une série de mesures à prendre en cas de déséquilibres, visant à maximiser et optimiser la capacité disponible pour répondre à la demande projetée et atteindre les cibles de performance.

Le résultat attendu de cette phase est la création d'un plan, plus d'une semaine à l'avance, répertoriant toutes les hypothèses, les prévisions de capacité résultantes et les mesures

d'exception. Certains éléments du plan seront diffusés dans des AIP, aidant ainsi les planificateurs à résoudre l'encombrement anticipé dans les zones problématiques.

Cela renforcera l'ensemble de l'ATFM, puisque des solutions aux problèmes potentiels seront diffusées bien à l'avance

❖ **Phase pré-tactique :**

En général La phase pré-tactique ATFM s'étend d'un jour à une semaine avant les opérations. La phase pré-tactique consiste en l'étude de la demande pour le jour de l'opération (depuis 48 heures avant), en la comparant avec la capacité disponible ce jour-là, en ajustant le plan élaboré dans la phase d'ATFM stratégique, ou de déterminer des mesures différentes selon les besoins,

L'objectif principal de cette phase est d'optimiser la capacité grâce à une organisation efficace des ressources (par exemple, la gestion de la configuration du secteur, l'utilisation de procédures de vol alternatives).

La méthodologie de travail est basée sur un processus CDM établi entre les différentes parties prenantes.

Les tâches à accomplir dans cette phase peuvent inclure :

- Déterminer ou estimer la demande ;
- Déterminer la capacité disponible dans les divers secteurs, en fonction de la situation particulière ce jour-là ;
- Étudier l'espace aérien ou les flux qui seront probablement affectés et les aérodrômes qui risquent d'être saturés, en calculant les taux d'acceptation à appliquer selon la capacité du système.
- Effectuer une analyse comparative de la demande/capacité ;
- Rédiger un résumé des mesures ATFM à proposer et le soumettre à la communauté ATFM pour analyse en collaboration et discussion ;
- À un nombre convenu d'heures avant les opérations, procéder à une dernière consultation avec les organismes ATS concernés et les parties prenantes pertinentes, afin d'ajuster les mesures ATFM et de déterminer celles qui devraient être publiées en utilisant le système de messagerie ATFM correspondant.

❖ **Phase tactique :**

Lors de cette phase, les flux de trafic et les capacités sont gérés en temps réel, les solutions et les mesures sont adaptées le jour de l'opération.

L'objectif principal est de minimiser les perturbations et de profiter de toutes les opportunités qui peuvent surgir. La nécessité d'ajuster le plan d'origine peut résulter de problèmes de dotation, phénomènes météorologiques significatifs, les crises et les événements spéciaux, des opportunités inattendues ou des limitations liées à la terre ou à l'infrastructure, des données plus précises du plan de vol (FPL), la révision des valeurs de la capacité du secteur, etc.

La phase tactique vise à s'assurer que :

- Les mesures prises lors des phases stratégique et pré-tactique s'attaquent effectivement aux déséquilibres demande/capacité ;
- Les mesures appliquées sont absolument nécessaires et que les mesures inutiles sont évitées ou supprimées ;
- La capacité est maximisée sans compromettre la sécurité ;
- Les mesures sont appliquées en tenant dûment compte de l'équité et de l'optimisation globale du système.

Il est essentiel de fournir des informations fiables et précises à cette étape, car l'objectif est de minimiser l'impact de tout événement en utilisant des prévisions à court terme. Différentes solutions peuvent être appliquées, selon que les aéronefs sont déjà en vol ou sur le point de décoller. L'utilisation de toutes les informations disponibles est indispensable pour la planification proactive et la gestion tactique. Il est d'une importance vitale d'évaluer en permanence l'impact des mesures ATFM et de les ajuster, de manière collaborative, en utilisant les informations reçues des différentes parties prenantes.

❖ **Analyse post-opérations :**

Il s'agit de la dernière étape du processus de planification et de gestion ATFM au cours de laquelle, un processus analytique est exécuté afin de mesurer et d'analyser les processus ainsi que les activités opérationnelles, et de rendre compte de ces résultats.

Pendant cette phase, il est préférable que toutes les parties prenantes du service ATFM communiquent leurs observations en utilisant un format électronique normalisé permettant d'incorporer les informations de manière automatisée dans l'analyse post-opérations.

L'analyse des éléments tels que les événements prévisibles et imprévus, les mesures et les retards ATFM, l'utilisation de scénarios prédéfinis, la planification des vols et les problèmes de données sur l'espace aérien devraient également être incluses dans le processus.

Le résultat attendu doit être mesuré par rapport au résultat réel, généralement en termes de retard et de prolongation de l'itinéraire, tout en tenant compte des objectifs de performance.

L'analyse post-opératoire peut être utilisée pour :

- Identifier les tendances opérationnelles ou les occasions d'amélioration ;
- Examiner plus en détail la relation de cause à effet des mesures ATFM pour aider à choisir et à développer des stratégies et actions futures ;
- Recueillir des informations supplémentaires en vue d'optimiser l'efficacité du système ATM en général ou pour des événements en cours ;
- Effectuer une analyse de domaines d'intérêt particuliers, tels que des opérations irrégulières, d'événements spéciaux ou de l'utilisation de propositions de réacheminement ;
- Formuler des recommandations sur la manière d'optimiser les performances du système ATM et de minimiser l'impact négatif des mesures ATFM sur les opérations.

I.2.6 Solutions ATFM

Durant la phase stratégique, il est important que les ANSP et les usagers de l'espace aérien travaillent ensemble pour identifier et choisir les types de solutions ATFM les plus adaptés et les plus acceptables qui peuvent être utilisés dans un secteur spécifique.

L'ATFM est ainsi un processus dans lequel, en présence d'un déséquilibre entre la demande et la capacité, la priorité est donnée à l'amélioration de la capacité puis au choix et à l'application des mesures ATFM lorsqu'il est impossible de résoudre le déséquilibre autrement.

On distingue alors deux catégories de solutions :

I.2.6.1 Optimisation de la capacité

L'optimisation de la capacité est un aspect d'une solution ATFM qui fournit une capacité additionnelle afin de remédier à un déséquilibre entre la demande et la capacité.

Les optimisations de capacité typiques utilisées dans l'ATFM sont les suivantes :

❖ Sectorisation et configuration correspondante

La capacité d'un espace aérien peut être optimisée en ajustant la sectorisation de cet espace et des espaces aériens voisins. Lorsque la capacité est insuffisante, une reconfiguration de l'espace aérien (par exemple, le nombre et la configuration des secteurs, ainsi que les positions des contrôleurs) peut accroître la capacité globale en améliorant la répartition de la charge de travail de l'ATC.

❖ L'utilisation flexible de l'espace aérien (FUA)

L'utilisation flexible de l'espace aérien est l'un des moyens les plus efficaces d'augmenter la capacité. Lorsque la demande dépasse la capacité, des discussions MDP devraient être menées avec les autorités responsables des zones dangereuses, restreintes ou interdites.

Cela inclut généralement les usagers de l'espace aérien militaire ou récréatif. En négociant l'utilisation de cet espace aérien pendant les périodes de forte demande, il est possible d'affecter des routes supplémentaires ou un espace aérien vertical, et de modifier les secteurs pour optimiser l'utilisation de l'espace aérien.

❖ Équilibre de la capacité pour les arrivées et les départs

Pendant de courtes périodes d'exploitation, la configuration d'un aéroport (p. ex., utilisation des pistes pour les opérations, y compris les opérations en mode mixte) peut affecter la capacité disponible. En cas de déséquilibre entre la demande et la capacité, les organismes ATFM devraient déterminer si une modification de la configuration opérationnelle de l'aéroport pourrait accroître la capacité afin de réduire ce déséquilibre.

I.2.6.2 Mesures ATFM

Les mesures ATFM sont des techniques utilisées pour réguler la demande de trafic aérien en fonction de la capacité disponible. Elles constituent des initiatives importantes pour la gestion des flux de trafic aérien et se révèlent très efficaces lorsqu'elles sont employées pour contrôler la demande de trafic.

Cependant, leur application devrait être limitée aux situations où elles sont indispensables pour garantir la sécurité et l'efficacité du système ATM car elles peuvent avoir des répercussions significatives sur les usagers de l'espace aérien.

Il existe plusieurs types de mesures ATFM [1] :

❖ **Programme de retardement au sol (Ground Delay Programme (GDP)) :**

Le GDP est une mesure ATFM stratégique, pré-tactique ou tactique. C'est un processus de gestion du trafic aérien dans laquelle les aéronefs sont maintenus au sol afin de gérer la capacité et la demande à travers un volume spécifique d'un espace aérien ou à un aéroport donné. Dans ce processus, les heures de départ sont assignées aux créneaux disponibles correspondants d'entrée dans l'espace aérien saturé ou aux créneaux d'arrivée/départ de l'aérodrome saturé.

L'objectif principal d'un GDP est de minimiser les retards en vol, c'est un programme flexible et il peut donc adapter sous différentes formes en fonction des besoins du système ATM.

La collaboration est essentielle pour élaborer les GDP, bien qu'ils soient généralement administrés et gérés par une unité de gestion du flux (FMU) ou un centre ATFM national ou international.

❖ **Arrêt au sol (Ground Stop (GS)) :**

Le GS est une mesure ATFM tactique utilisée en cas de perturbations imprévues, Elle consiste à maintenir certains aéronefs sélectionnés au sol. En raison des conséquences importantes de ces arrêts pour les usagers de l'espace aérien, il est conseillé de rechercher et d'appliquer d'autres mesures ATFM du trafic aérien avant de recourir à un GS, dans la mesure où le temps et les circonstances le permettent.

Le GS doit être utilisé dans les situations suivantes :

- Dans les cas où la capacité est fortement réduite, par exemple en raison de fermetures d'aéroports ou de pistes pour le déneigement, ou à cause d'accidents ou d'incidents d'avion.
- Pour éviter de longues périodes d'attente en vol.
- Lorsqu'une installation est partiellement ou totalement incapable de fournir des services (ATC) en raison de circonstances imprévues.

- Lorsque les itinéraires ne sont pas disponibles en raison de conditions météorologiques violentes ou d'événements catastrophiques.

- ❖ **Séparation en minutes (MINIT) Minutes-in-trail :**

Il s'agit d'une mesure ATFM tactique. C'est Le nombre de minutes nécessaires entre les aéronefs successifs. Cette mesure est généralement utilisée dans un environnement sans radar, ou lorsque de l'espace supplémentaire est nécessaire en raison des écarts des aéronefs.

- ❖ **Séparation en distance Miles-in-trail (MIT) :**

Il s'agit d'une mesure ATFM tactique. C'est Le nombre de miles requis entre les aéronefs répondant à des critères spécifiques, tels que la séparation, l'aéroport, les points fixes, l'altitude, le secteur ou les itinéraires particuliers. MIT sont utilisés pour répartir le trafic en flux gérables et pour créer un espace permettant d'accueillir du trafic supplémentaire dans le flux de trafic.

L'utilisation fréquente de la MINIT ou de la MIT peut indiquer qu'il serait préférable de recourir à des mesures ATFM plus appropriées.

- ❖ **Intervalle minimal entre départs (Minimum Departure Intervals (MDIs)) :**

Les MDIs sont des mesures ATFM tactiques ; elles sont appliquées en établissant une fréquence de départs, par exemple en imposant un intervalle de 3 minutes entre les départs successifs d'un même aéroport. Les MDI sont généralement appliqués pendant une courte période de temps lorsque le secteur de départ est extrêmement encombré ou lorsque la capacité du secteur est soudainement réduite (en raison d'une panne d'équipement, de conditions météorologiques, etc.).

- ❖ **Echange de créneaux (Slot Swapping) :**

Le slot swapping est une mesure ATFM tactique qui peut être appliquée manuellement ou par des moyens automatisés. Elle offre la possibilité d'échanger les créneaux de départ fournis aux utilisateurs de l'espace aérien, permettant ainsi la modification de l'ordre de départ de leurs vols qui sont régulés.

- ❖ **Réacheminement (Re-routing) :**

Les mesures basées sur les routes (sur le plan horizontal ou vertical) visent à empêcher un nombre excessif de vols réguliers d'atteindre une ressource ATM déjà saturée. Les

réacheminements sont généralement planifiés en scénarios et peuvent être obligatoires ou consultatifs.

- **Mandatory Re-routing scenarios:** changement de route obligatoire des flux pour décharger le trafic dans certaines zones encombrées.
- **Alternative routing scenarios:** Routes qui sont mises à la disposition des utilisateurs de l'espace arien sur une base facultative pour décharger le trafic dans certaines zones.

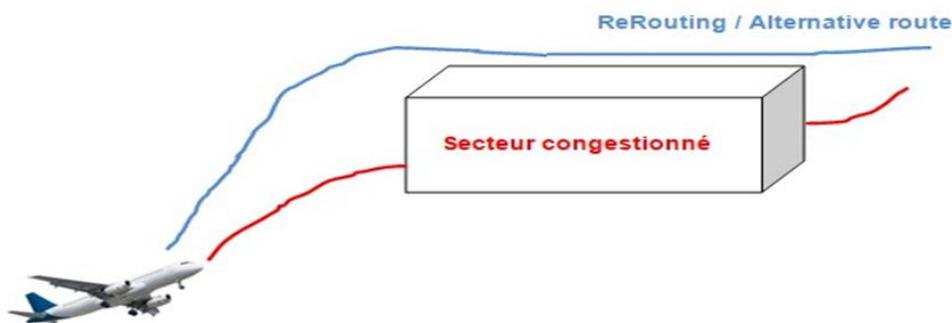


Figure I.4 : La mesure Re-Routing et la mesure Alternative route de l'ATFM.

❖ **Scénarios limiteurs de niveau : (Level capping scenarios) :**

Le Level Capping consiste à modifier le niveau de vol, en définissant une plage spécifique de niveaux de vol admissibles. En d'autres termes, il s'agit de réacheminer les flux de trafic aérien en imposant des restrictions de niveau. Par exemple, les vols en provenance de l'aéroport de Nuremberg (code OACI : EDDN) à destination de la région de Paris (TMA) doivent déposer leur plan de vol en indiquant le niveau de vol FL245. Si les vols sont soumis à un scénario de level capping, les opérateurs aériens (AO) doivent soumettre ou ré-archiver leur plan de vol (FPL) pour répondre aux exigences de niveau de vol définies.

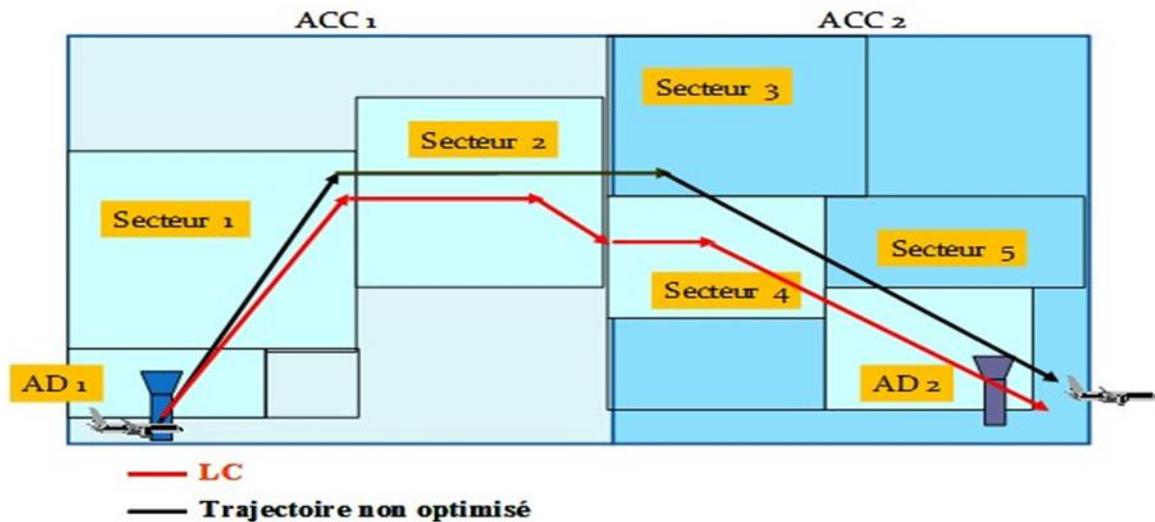


Figure I.5 : La mesure de Level Capping de l'ATFM.

❖ **Équilibrage des repères (Fix balancing) :**

Cette mesure tactique de gestion du flux de trafic aérien (ATFM), généralement appliquée en vol, a pour objectif de répartir la demande et d'éviter les retards. Elle attribue à l'aéronef un point d'arrivée ou de départ différent de celui prévu dans le plan de vol.

Elle peut également être utilisée, par exemple, lors de conditions météorologiques convectives, lorsque les arrivées normalisées aux instruments (STAR) et les départs normalisés aux instruments (SID) ne peuvent pas être utilisés.

❖ **Attente en vol (Airborne Holding) :**

Consiste à faire des attentes en vol ou demander aux aéronefs de réduire leur vitesse en vol.

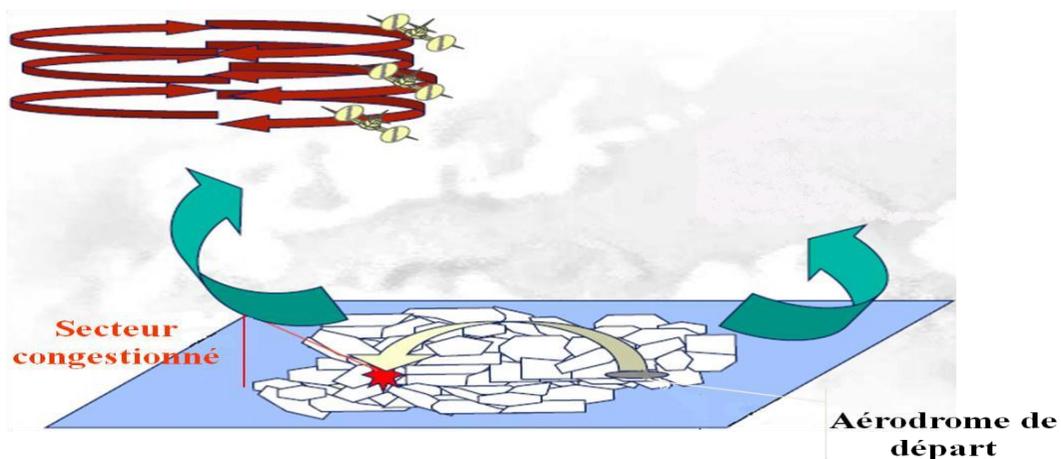


Figure I.6 : La mesure d'attente en vol l'ATFM.

I.2.7.1 FMU/FMP

Le FMU est chargé de gérer directement les flux de trafic et de mettre en place les initiatives approuvées (initiatives de gestion du trafic TMI) en collaboration avec ou comme dirigé par, l'autorité de surveillance.

L'unité de gestion des flux de trafic doit :

- Garantir la liaison avec les organismes ATS de leur région de responsabilité pour comprendre les conditions de capacité actuelles et prévues ;
- Recueillir toutes les données pertinentes, telles que conditions météorologiques, limitations de capacité, pannes d'infrastructure, fermetures de pistes, pannes de systèmes automatisés et modifications de procédures qui affectent les organismes ATS. Différentes méthodes peuvent être utilisées pour collecter les informations, telles que la téléconférence, le courrier électronique, Internet et la collecte de données automatisée.
- Veiller à ce que les informations pertinentes soient diffusées aux parties prenantes concernées, en se basant sur les processus CDM qui soutiennent les opérations ATFM et sur les structures mises en place pour diffuser les informations (sites web, par exemple) ;
- Coordonner avec les parties prenantes visées, en appliquant les processus CDM, la formulation de stratégies pour gérer les flux afin de résoudre, conformément aux scénarios établis au niveau stratégique, les déséquilibres prévus entre la capacité et la demande, notamment les processus liés aux vols réguliers, aux conditions météorologiques significatives, aux niveaux anormaux de demande de trafic et, de façon plus générale, aux contraintes de capacité importantes, planifiées ou non. Cette coordination comporte généralement des conférences téléphoniques et/ou conférences web quotidiennes, selon les besoins ;
- Mise en place et diffuser le plan quotidien d'ATFM (ADP) en se basant sur la coordination précédente ;
- Registrer en temps réel une description exhaustive de toutes les mesures ATFM (par exemple, programmes de retardement au sol, séparation en distance) dans un registre désigné. Les données devraient notamment inclure, pour chaque mesure, les horaires de début et de fin, les parties prenantes et les vols concernés, ainsi que leur explication ;

- Surveiller / revoir le système de gestion des flux, faire des ajustements si nécessaires, et d'annuler lorsqu'il n'est plus nécessaire.

I.2.7.2 Usagers de l'espace aérien

On distingue deux types : usager de l'espace aérien civile et usager de l'espace aérien militaire.

❖ Usager de l'espace aérien civile

Il a pour rôle de :

- Apporter une contribution stratégique aux scénarios de capacité/demande et aux plans d'atténuation, notamment aux mesures internes telles que la compression des horaires ;
- Veiller à ce que les informations les plus récentes sur les horaires et sur la planification des vols soient communiqués au service ATFM ;
- Participer aux téléconférences ATFM/CDM ; Apporter une contribution d'ordre tactique aux scénarios de capacité/demande et au choix des mesures ATFM appropriées ;
- Mettre en place des mesures d'atténuation appuyées par le service ATFM ;
- Veiller à ce que l'information ATFM, telle que les mesures ATFM (CTOT), soit communiquée à chaque vol concerné ;
- Se conformer aux mesures ATFM en place, par exemple, la conformité au CTOT ;
- Participer aux analyses post-événement.

❖ Usager de l'espace aérien militaire

Il a pour rôle de :

- Fournir en temps utile des plans d'utilisation de l'espace aérien aux organismes ATC et ATFM appropriés, conformément aux principes de l'utilisation flexible de l'espace aérien (FUA) lorsqu'ils s'appliquent ;
- Veiller à ce que les opérations soient conformes au plan FUA convenu et informer immédiatement l'organisme compétent de la fin ou de l'annulation des opérations FUA ;
- Participer aux téléconférences ATFM/CDM ou fournir des informations pour les appels ;
- Veiller à ce que les informations de vol les plus récentes soient fournies au système ATFM

- Veiller à ce que les vols soient conformes au plan ATFM en place ;
- Coordonner avec les organismes ATFM/ATC la libération tactique de l'espace aérien ou l'autorisation de voler dans un espace aérien réglementé/actif lorsque les circonstances l'exigent ;
- Participer aux analyses post-événement.

I.2.7.3 Organismes ATS

L'organisme ATS joue un rôle central dans l'ATFM qui se résume à :

- La participation aux téléconférences ATFM/CDM pertinentes ;
- La fourniture des renseignements sur la capacité et la configuration de leur zone de responsabilité ;
- L'apport d'une contribution d'ordre stratégique aux scénarios de
- L'apport d'une contribution d'ordre pré-tactique aux scénarios de capacité/demande ;
- L'apport d'une contribution d'ordre tactique aux scénarios de capacité/demande ;
- La gestion des aéronefs conformément à l'ADP, en assurant la conformité aux mesures ATFM ;
- La surveillance du débit des ressources et la charge de travail ATC dans les situations ATFM et demander des modifications s'il y a lieu ;
- La liaison avec l'organisme responsable de l'ATFM pour s'assurer que le plan ATFM est approprié, s'il ne fait pas partie d'un ACC ou d'un organisme de contrôle d'approche ;
- La participation aux analyses post-événement.

I.2.7.4 Exploitants d'aéroports

La participation des exploitants d'aéroports peut être directe ou s'effectuer dans le cadre de la prise de décision collaborative aux aéroports (A-CDM).

Cela inclut principalement :

- Participer aux téléconférences ATFM/CDM pertinentes ;
- Fournir des informations pour la déclaration de capacité stratégique des aéroports ;

- Assurer la coordination avec l'organisme ATFM/ATC compétent et les usagers de l'espace aérien concernés pour la programmation d'activités telles que la construction, la maintenance et les réparations ou le déneigement, qui auront des incidences sur les flux de trafic ou la capacité aéroportuaire ;
- Participer aux discussions de coordination CDM lorsque la capacité aéroportuaire sera affectée par les conditions météorologiques, la maintenance ou d'autres activités aéroportuaires ;
- Participer aux analyses post-événement.

I.2.7.5 Fournisseur de services météorologiques

Les fournisseurs de renseignements MET jouent un rôle crucial dans l'ATFM. Il est attendu qu'ils :

- Participent aux discussions de coordination ATFM/CDM (téléconférences) lorsque les conditions météorologiques ont des incidences sur la capacité ;
- Fournissent des renseignements précis et en temps opportun sur les conditions météorologiques aux aérodromes, des prévisions numériques aux points de grille du vent et de la température en altitude, et des renseignements sur les conditions météorologiques significatives qui influent sur la capacité d'un volume donné d'espace aérien ou d'un aéroport ;
- Participent aux analyses post-événement.

I.2.7.6 Les États

La participation systématique des États et des autorités nationales aux activités quotidiennes de l'ATFM n'est pas obligatoire, mais ils sont chargés de :

- Veiller à ce que l'ATFM soit instituée pour l'espace aérien où la demande de trafic aérien dépasse par moments, ou va dépasser selon les prévisions, la capacité déclarée des services du contrôle de la circulation aérienne intéressés ;
- Publication des procédures et des informations ATFM dans l'AIP nationale.

I.2.8 Attribution et responsabilité pour les mesures ATFM

Toutes les parties impliquées dans la gestion du flux de trafic aérien (ATFM) doivent partager une compréhension commune des raisons justifiant l'application des mesures ATFM,

ainsi que de l'entité responsable de ces actions (comme l'infrastructure de l'aérodrome, les fournisseurs de services de navigation aérienne (ANSP), les dangers externes, etc.).

Les procédures locales de l'ATFM devraient contenir des définitions adéquates et acceptées.

Une liste non exhaustive des raisons justifiant la mise en place de mesures ATFM et des entités responsables est présentée ci-dessous [2] :

I.2.8.1 Facteurs sous le contrôle de l'ANSP

- Étalonnage en vol/vérification en vol ;
- Maintenance ou défaillance de l'équipement (CNS) ;
- Dotation en personnel ;
- Séquencement des arrivées et des départs des vols ;
- Non-optimisation de la capacité et des configurations.

I.2.8.2 Facteurs sous le contrôle de l'État

- Activation de restrictions ou de réservations d'espace aérien affectant la capacité ;
- Événements spéciaux (spectacles aériens, activités de personnalités importantes, événements sportifs) ;
- Disponibilité de l'espace aérien à utilisation spéciale durant des conditions météorologiques défavorables ou d'autres contraintes.

I.2.8.3 Facteurs sous le contrôle de l'aéroport

- Infrastructure et configuration de l'aérodrome ;
- Travaux d'aménagement de l'aérodrome affectant la capacité ;
- Fermeture de piste ;
- Fermeture de voie de circulation ;
- Retards dus au dégivrage (temps dépassant la durée normale de traitement en l'absence d'obstacles) ;
- Décontamination (balayage, déneigement) et inspections de piste ;
- Réduction de la capacité des pistes due à l'absence de décontamination par l'exploitant de l'aéroport

- Retard dans le débarquement en raison de l'indisponibilité d'une porte
- Retard dans le débarquement en raison de l'indisponibilité d'un service (transport au sol, services d'escale, douanes, etc.)

I.2.8.4 Facteurs sous le contrôle des usagers de l'espace aérien

- Impossibilité de partir à l'heure de départ prévue (ETD) en raison d'un retard de l'aéronef à l'arrivée et de préparation du vol ;
- Impossibilité de partir à l'heure de départ (créneau) contrôlée, qui est l'ETD ou plus tard.

I.2.9 Détermination du concept des opérations

Après avoir évalué les besoins en matière de gestion du trafic aérien (ATFM) et de gestion collaborative des décisions (CDM), les prestataires de services de navigation aérienne (ANSP) doivent déterminer l'étendue de l'ATFM pour leur zone de responsabilité. Cela se fait généralement lors de la rédaction d'un projet de document sur un concept d'opérations (CONOPS), qui doit décrire le type d'ATFM envisagé, la dimension géographique (nationale, transfrontalière, régionale) et l'ampleur (phases ATFM prises en charge, étendue des mesures, etc.) [1].

I.2.9.1 ATFM national

Un État peut disposer d'un nombre suffisant de vols intérieurs pour que l'ATFM national soit efficace sans inclure les vols internationaux. L'expérience et les meilleures pratiques montrent qu'une participation minimale de 70 % des vols dans une mesure ATFM, comme un GDP, est nécessaire pour en tirer les avantages opérationnels et d'efficacité attendus. Ainsi, un ANSP peut commencer par mettre en œuvre l'ATFM/CDM national, mais le plan à long terme devrait viser une « mise à niveau » vers un ATFM régional transfrontières, intégrant les vols internationaux.

I.2.9.2 ATFM régional

L'ATFM régional a pour objectif de maximiser l'efficacité et l'efficience de la gestion du trafic aérien (ATM) au sein de la zone de responsabilité de plusieurs fournisseurs de services de navigation aérienne (ANSP). Il contribue directement aux objectifs, principes et avantages de l'ATFM, visant à créer un environnement ATM harmonisé et sans discontinuité dans une région ou une sous-région.

I.2.9.3 ATFM transfrontières multi-nodale

Dans ce concept, chaque fournisseur de services de navigation aérienne (ANSP) fonctionne comme un nœud virtuel indépendant pour l'ATFM/CDM, soutenu par un cadre interconnecté de partage d'informations. Les flux de trafic aérien sont alors gérés efficacement selon un ensemble commun de principes convenus entre les ANSP et les aéroports participants. Un nœud, composé de l'ANSP et des aéroports associés, peut gérer la demande et la capacité en ajustant les heures calculées d'atterrissage (CLDT), ce qui entraîne des heures calculées de décollage (CTOT) pour certains aéronefs à l'aéroport de départ.

Chaque ANSP équilibre la demande et la capacité dans sa propre zone de responsabilité. Lorsque les mesures ATFM nécessitent la participation de vols régionaux et internationaux, les flux sont gérés par des procédures de coordination convenues.

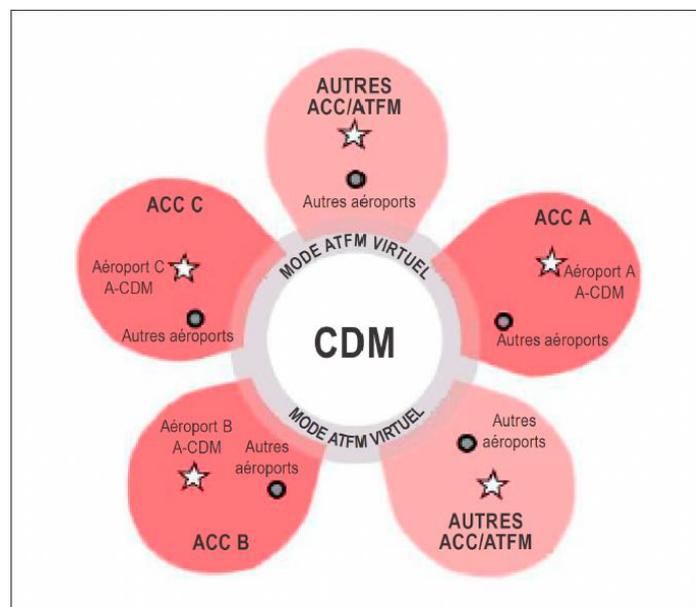


Figure I.8: concept proposé de réseau ATFM multi-nodal réparti. [2]

I.2.10 La Congestion du Trafic Aérien

La congestion aérienne est un problème universel qui touche particulièrement les grands aéroports et les Centres de Contrôle Régionaux. Elle résulte d'un déséquilibre entre l'offre et la demande, où le nombre de vols à gérer dépasse la capacité du système de contrôle. Cela entraîne une dégradation de la qualité de service et un risque accru d'accidents. Elle se déclenche lorsque la demande dépasse l'offre dans :

- Les Infrastructures Aéroportuaires : l'insuffisance des capacités aéroportuaires (pour l'atterrissage ou le décollage, la circulation au sol).

➤ Le contrôle aérien :

- Le nombre d'aéronefs qui peuvent être contrôlés en même temps est limité, le nombre de contrôleurs disponibles... etc.

- L'organisation de l'espace aérien (l'espace aérien est limité) [4].

I.2.10.1. Types de Congestion Aérienne

La congestion aérienne se divise en deux types :

❖ Congestion récurrente :

Se produit de manière répétitive dans le temps et/ou l'espace (par jour, mois, ou année). Elle reflète une demande de transport récurrente, indiquant que le volume de trafic aérien dépasse la capacité du système de contrôle aérien (ATC). Cette congestion tend à se concentrer pendant les heures de pointe et nécessite des améliorations opérationnelles et des mesures agissant principalement sur la demande.

❖ Congestion non récurrente :

Également appelée congestion incidente, elle résulte de phénomènes aléatoires tels que des accidents, des pannes ou des chantiers. Elle peut survenir à tout moment de la journée, mais est particulièrement pénalisante lorsqu'elle s'ajoute à la congestion récurrente. Actuellement, il n'existe pas de méthode fiable pour estimer cette catégorie de congestion.

I.2.10.2 Les causes de la congestion aérienne

- Capacité insuffisante du contrôle aérien ;
- Nombre limité d'avions pouvant être surveillés simultanément ;
- Capacité aéroportuaire insuffisante ;
- Limitation de l'espace aérien (le trafic augmente mais l'espace ne peut être étendu) ;
- Mauvaise organisation du contrôle aérien.

I.3 La prise de décision en collaboration (CDM)

La onzième Conférence de navigation aérienne (AN-Conf/11), qui s'est tenue à Montréal du 22 septembre au 3 octobre 2003, a adopté la Recommandation 1/1 intitulée « Approbation

du concept opérationnel d'ATM mondiale ». Ce concept a ensuite été publié sous le titre "Concept opérationnel d'ATM mondiale" (Doc 9854 de l'OACI), première édition en 2005.

Au cœur de ce concept se trouve l'exigence de transition vers un environnement plus collaboratif. Le rapport de la Conférence AN-Conf/11 (Rapport sur le point 1 de l'ordre du jour) souligne la nécessité de progresser vers un processus décisionnel holistique, coopératif et conjoint, harmonisant les attentes de tous les membres de la communauté ATM pour garantir l'équité et l'accès. Ce concept décrit également, dans le Doc 9854, Appendice I, § 10, une explication de haut niveau de la prise de décision en collaboration (CDM), incluant les points suivants :

- La CDM permet à tous les membres de la communauté de gestion du trafic aérien (ATM) de participer aux décisions les concernant, sans se limiter à un domaine spécifique comme un aéroport ou les opérations en route.
- La CDM peut être appliquée à tous les niveaux de prise de décision, de la planification à long terme aux opérations en temps réel.
- La CDM peut être mise en œuvre de manière active ou, grâce à des procédures convenues en collaboration, de manière passive.
- Une gestion et un partage efficaces des informations permettent à chaque participant de connaître les informations pertinentes pour les décisions des autres membres.
- La CDM permet à n'importe quel membre de proposer une solution, ce qui est plus efficace avec une gestion d'information adéquate.

AN-Conf/11 a également souligné la nécessité de définir les besoins ATM à partir du concept opérationnel d'ATM mondiale. Cela est détaillé dans la Recommandation 1/3 — Définition des besoins ATM : il est recommandé que l'OACI définitisse en priorité un ensemble de besoins fonctionnels et opérationnels pour le système ATM mondial à partir du concept opérationnel d'ATM.

Le Manuel des spécifications du système de gestion du trafic aérien (Doc 9882) a été élaboré sur la base de cette recommandation. Ces spécifications insistent sur la nécessité d'une CDM à tous les horizons temporels et pour toutes les composantes du concept, notamment :

- Assurer l'inclusion des usagers de l'espace aérien (AU) dans tous les aspects de la gestion de l'espace aérien via le processus CDM ;

- Gérer l'ensemble de l'espace aérien et, si nécessaire, modifier les priorités d'accès et d'équité établies pour certains volumes d'espace aérien, en conformité avec les règles et procédures de la CDM ;
- Mettre en place un processus collaboratif pour une gestion efficace des flux de trafic aérien, en utilisant des informations sur les flux, les conditions météorologiques et les ressources du système [2].

I.3.1 Les différents acteurs de la CDM dans un environnement collaboratif

La figure ci-dessous, tirée du Doc 9965, illustre les participants de haut niveau qui collaborent en fournissant et en utilisant des informations dans divers domaines. Les catégories principales de participants impliqués dans cette collaboration sont :

- Les fournisseurs de services ATM (ASP) ;
- Les exploitants d'aéroports (AOP) ;
- Les usagers de l'espace aérien (AU) ;
- Les fournisseurs d'espace aérien (AP) ;
- Les fournisseurs de services d'urgence (ESP). [1]

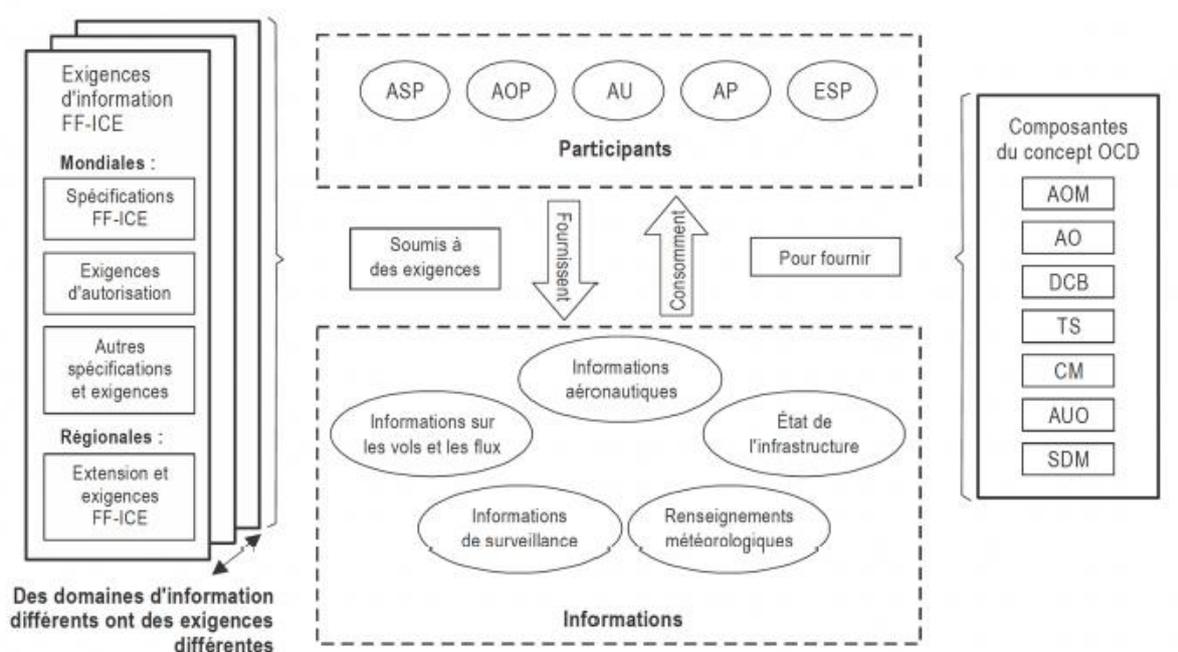


Figure I.9 : l'information dans un environnement collaboratif. [1]

I.3.2 Mise en œuvre d'un processus CDM

L'élaboration et l'application d'un processus CDM se déroulent généralement en plusieurs phases [2] :

I.3.2.1 Identification du besoin de CDM

Cette première phase consiste à déterminer si l'application de la CDM est nécessaire pour améliorer les performances. Elle peut concerner des opérations ou des processus actuels ou futurs.

Un "énoncé des besoins" doit spécifier les processus nécessitant la CDM, décrire la situation actuelle, identifier les membres de la communauté impliqués et les lacunes de performance existantes ou prévues. Cet énoncé devrait inclure une évaluation initiale (souvent basée sur l'expertise) expliquant comment et par quels moyens la CDM peut combler ces lacunes.

I.3.2.2 Analyse CDM

Dans cette deuxième phase, le processus est analysé en détail du point de vue de la prise de décision. Cette analyse doit identifier clairement les décisions à prendre, les membres de la communauté impliquée, les informations nécessaires, les processus à suivre, et les moyens d'améliorer le processus décisionnel, ainsi que l'impact potentiel sur la performance.

I.3.2.3 Spécification et vérification du processus CDM

La troisième phase s'appuie sur l'analyse CDM et aboutit à une spécification partagée et vérifiée du processus CDM. Elle couvre :

- Les décisions à prendre, leur méthode de prise et de finalisation.
- Les membres de la communauté impliqués dans la prise de décision et leurs rôles/responsabilités.
- Un accord sur les objectifs partagés, avec des sous-objectifs individuels si nécessaire.
- Les règles, processus et principes de prise de décision, incluant une chronologie et des jalons, les interactions, rôles et responsabilités.
- Les exigences d'information, telles que les normes de données, la qualité, la fréquence et les échéances.
- Le processus de maintenance de la CDM, incluant révision et suivi.

I.3.2.4 Dossier de performances CDM

La quatrième phase consiste à élaborer un dossier de performances justifiant la mise en œuvre du processus CDM et les investissements nécessaires. Ce dossier doit spécifier les coûts et décrire les avantages en termes de performance. Les résultats doivent être partagés avec tous les membres concernés de la communauté. Si la CDM fait partie d'un nouveau processus, cela doit être intégré dans le dossier de performances.

I.3.2.5 Validation et mise en œuvre de la CDM

La cinquième phase inclut toutes les étapes nécessaires pour démarrer la CDM. Cela comprend la formation et l'information du personnel, la mise en œuvre ou l'adaptation de systèmes et de réseaux d'information.

I.3.2.6 Fonctionnement, maintenance et amélioration de la CDM

Une fois en fonctionnement, le processus CDM doit être continuellement révisé, maintenu et amélioré de manière partagée, pour garantir une amélioration constante des performances.

En conclusion, le processus CDM doit être mis en place avant le service ATFM, permettant à toutes les parties prenantes de collaborer pour choisir la solution ATFM la plus adéquate.

I.3.3 Description de la prise de décision en collaboration (CDM)

La prise de décision collaborative (CDM) est un processus utilisé pour soutenir d'autres activités telles que l'équilibre entre la demande et la capacité. Le CDM peut être mis en œuvre à toutes les étapes, allant de la planification stratégique (comme les investissements en infrastructures) aux opérations en temps réel. Le CDM n'est pas une fin en soi, mais un moyen d'atteindre les objectifs de performance des processus qu'il soutient. Ces objectifs de performance doivent être définis en collaboration. Comme la mise en œuvre du CDM nécessitera probablement des investissements, ceux-ci devront être justifiés en fonction d'une approche axée sur les performances. Le CDM nécessite également des procédures et des règles prédéfinies et convenues pour garantir des décisions collaboratives rapides et équitables.

Le CDM assure que les décisions sont prises de manière transparente, basées sur les meilleures informations disponibles, fournies par les participants de manière opportune et précise [3].

I.3.4 Domaines D'application (CDM)

Le CDM assure un concept de partage pertinent des informations de vol. La figure 7 définit un calendrier pour la fourniture d'informations, qui peut être utilisé pour décrire les domaines d'application des directives CDM. En plus du calendrier, d'autres méthodes permettent de décrire ces domaines, comme indiqué ci-dessous :

- a) Position dans la chronologie ;
- b) Référence de composant de processus/concept ATM ;
- c) Objectif du CDM et type de décisions qu'il soutient.

Des exemples de domaines de collaboration traités par l'approche basée sur les performances incluent :

- Collaboration sur les résultats et les objectifs de performance à long terme ;
- Collaboration sur la mise en œuvre d'améliorations opérationnelles, y compris les modifications apportées aux procédures, à l'organisation de l'espace aérien et à l'infrastructure ;
- Collaboration sur les prévisions et analyses post-événement utilisées pour la planification stratégique à long terme.

Le CDM peut également être appliqué à divers composants conceptuels au fur et à mesure de leur exécution dans le temps. Les exigences de collaboration et de CDM à travers plusieurs composants conceptuels incluent :

- Organisation et gestion de l'espace aérien ;
- Opérations d'aérodrome ;
- Équilibrage de la demande et de la capacité ;
- Synchronisation du trafic ;
- Gestion de la prestation de services ATM [1].

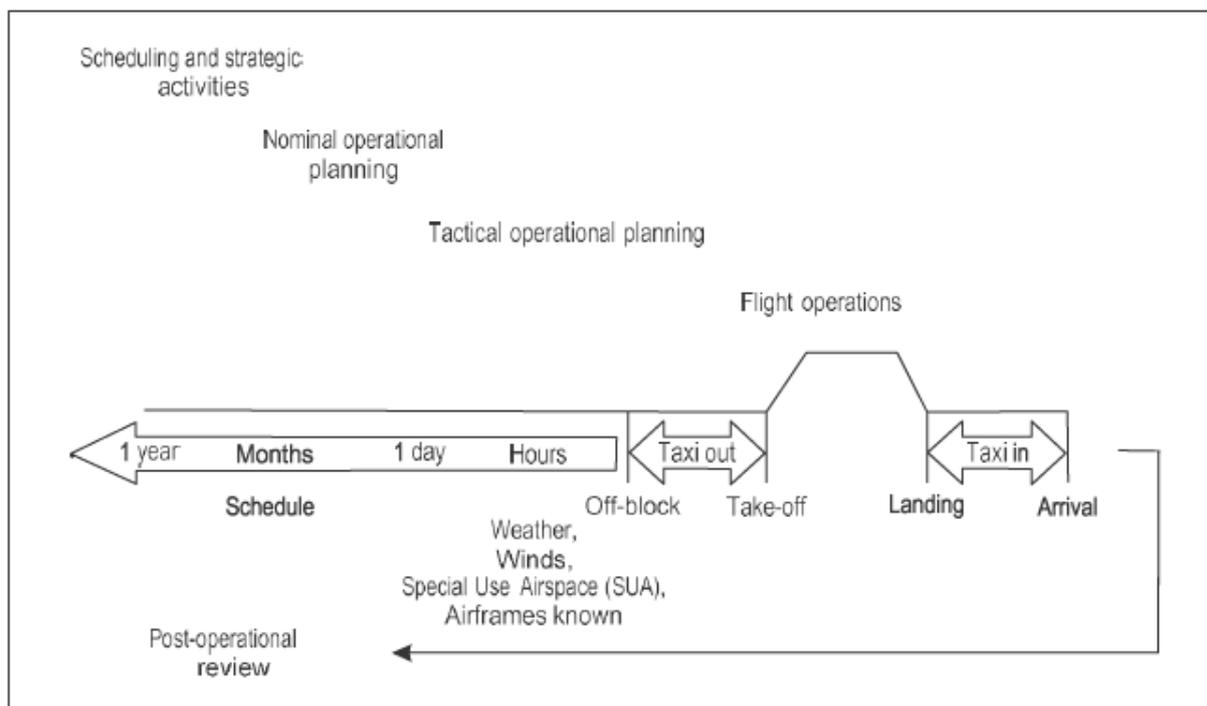


Figure I.10 : Chronologie de la fourniture d'informations (extrait du concept FF-ICE). [3]

Au-delà des exigences de collaboration, il est évident que les décisions sur la gestion stratégique des conflits peuvent également bénéficier du CDM. Cependant, comme il est réalisé à travers d'autres composants conceptuels, le CDM appliqué à la gestion des conflits est couvert par ces composants. Par exemple, la collaboration peut inclure :

- a) Avant le départ, pour gérer le processus de retournement et la file d'attente de départ ;
- b) La gestion des flux par le contrôle et la synchronisation des vols individuels ;
- c) Les prévisions météorologiques convenues pour mettre en œuvre des restrictions de flux d'espace aérien/d'aéroport ;
- d) La synchronisation et la sélection des configurations dynamiques de l'espace aérien ;
- e) La détermination des critères de performance pertinents pour une période donnée ;
- f) Des réponses unilatérales équitables aux événements lorsque le temps ne permet pas une collaboration supplémentaire en réponse aux événements.

I.3.5 Prise de décision collaborative (CDM) dans le contexte de l'ATFM

- Le processus CDM est un élément central de toute stratégie ATFM, facilitant le partage de toutes les informations pertinentes entre les décideurs et soutenant un dialogue continu entre les différentes parties prenantes à toutes les phases du vol. Ce processus permet aux diverses organisations de se tenir mutuellement informées en permanence des événements des phases stratégiques aux phases tactiques.
- Le CDM repose sur le principe que tous les utilisateurs ont un accès équitable à l'espace aérien, tout en reconnaissant que les parties prenantes peuvent avoir des priorités différentes. Il reconnaît également que la responsabilité ultime de la sécurité des services de navigation aérienne incombe à l'ANSP, qui doit prendre la décision finale sur les initiatives de gestion des flux de trafic.
- L'organisation et le processus CDM dépendent de la complexité du service ATFM en place. Le processus CDM doit être conçu pour garantir que les parties prenantes puissent discuter des problèmes de demande et de capacité à travers des interactions régulières et formuler des plans prenant en compte tous les aspects et points de vue pertinents.
- Les résultats des conférences opérationnelles quotidiennes devraient aboutir à la publication d'un plan quotidien ATFM (ADP), complété par des mises à jour ultérieures. L'ADP doit être un ensemble de solutions ATFM proposées par l'unité ATFM, avec la contribution de toutes les parties prenantes. Il doit s'aligner sur les solutions mises en place au cours de la phase stratégique et être régulièrement réexaminé, mis à jour et republié au besoin.
- En plus des conférences quotidiennes, l'unité ATFM devrait organiser des réunions d'analyse périodiques et post-événement pour évaluer l'efficacité des processus ATFM, la conformité des AU et des unités ATC, l'exactitude des prévisions météorologiques, etc. L'objectif devrait être d'assurer l'efficacité des processus ATFM choisis, tout en tenant compte des exigences des parties prenantes. [1]

I.4. Conclusion

La gestion des courants de trafic aérien (ATFM) et la prise de décision en collaboration (CDM) sont des approches clés pour gérer efficacement le trafic aérien mondial. Ces concepts permettent non seulement d'optimiser l'utilisation des capacités existantes mais aussi d'assurer la sécurité et de minimiser l'impact environnemental.

L'ATFM propose des solutions pour équilibrer la demande et la capacité en optimisant cette dernière ou, si cela n'est pas possible, en appliquant une mesure ATFM adéquate pour résoudre le problème de congestion. Le CDM permet à toutes les parties prenantes de collaborer efficacement pour choisir les solutions ATFM les plus appropriées.

Les progrès technologiques et la coopération internationale sont essentiels pour répondre aux défis futurs et améliorer la qualité des services de navigation aérienne, réduisant ainsi les coûts pour les opérateurs et offrant une meilleure expérience aux passagers.

Chapitre II : Allocation des créneaux (SLOTS Allocation)

II. Chapitre II : Allocation des créneaux (SLOTS Allocation)

II.1 Introduction

Au cours du dernier siècle, l'aviation a subi des transformations considérables, qui l'ont amenée à devenir l'un des modes de transport les plus efficaces. Toutefois, malgré son évolution constante, le secteur aérien doit faire face à de nombreux défis. Depuis les années 1990, l'augmentation du trafic et le nombre croissant de compagnies aériennes sur le marché posent des problèmes de capacité et de saturation des aéroports.

Pour répondre à ces nouveaux enjeux, les États européens ont adopté des règles communes pour l'attribution des créneaux horaires, aussi appelés "slots".

II.1.1 La définition des créneaux

Les créneaux aux aéroports sont des périodes spécifiques allouées pour permettre à un aéronef d'atterrir ou de décoller à un aéroport. Là où la demande de créneaux à un aéroport dépasse l'offre disponible, l'aéroport peut être considéré comme « contraint pour des raisons de capacité », et alors un processus « d'attribution de créneaux » est mis en œuvre. La contrainte de capacité ne peut se produire qu'à certaines périodes du jour ou à certains jours de la semaine, ou même durant des saisons spécifiques.

Chaque pays dispose d'un coordonnateur chargé de la distribution des créneaux horaires entre les compagnies aériennes. En France, cette tâche incombe à la "COHOR" (l'Association pour la coordination des horaires), qui regroupe la plupart des compagnies aériennes françaises et des gestionnaires aéroportuaires. Elle surveille également l'utilisation des créneaux attribués. Le coordonnateur doit agir de manière neutre, transparente et non discriminatoire. [5]

II.1.2 Classifications des aéroports

La coordination entre toutes les parties prenantes au sein des aéroports est une méthode de gestion efficace pour optimiser l'utilisation des infrastructures limitées. Cela se fait en appliquant un ensemble de règles et de pratiques qui offrent une solution temporaire au problème de manque d'infrastructure, en attendant la mise en œuvre de la solution à long terme consistant à étendre la capacité de l'aéroport.

Pour assurer une bonne coordination entre toutes les parties prenantes. L'IATA a classifié les aéroports en trois catégories en fonction de leur niveau de congestion, à la suite d'une analyse de la demande par rapport à la capacité de l'infrastructure disponible. Cette analyse est réalisée

par l'ANSP, le gestionnaire de l'aéroport ou toute autre partie prenante, et doit être révisée à chaque changement significatif de l'infrastructure. [6]

II.1.2.1 Aéroports de niveau 1 (level 1 airports)

Ce sont des aéroports dont la capacité de l'infrastructure est généralement adéquate pour répondre à la demande des usagers de l'aéroport à tout moment.

II.1.2.2 Aéroports de niveau 2 (level 2 airports)

Ces aéroports sont susceptibles de connaître des périodes de congestion à certains moments de la journée, de la semaine ou de la saison, mais cette congestion peut être évitée grâce à un ajustement des plannings d'opérations en coordination avec les compagnies aériennes, l'ANSP ou le gestionnaire de l'aéroport. L'autorité compétente doit désigner un facilitateur, qui sera en consultation permanente avec le gestionnaire de l'aéroport et les compagnies aériennes opérant sur l'aéroport, afin de :

- S'assurer que les plans d'opération soumis par les compagnies aériennes sont réalisables et ne dépassent pas la capacité de l'aéroport.
- Informer toutes les parties prenantes des détails de la coordination et de l'utilisation de la capacité déclarée.
- Avertir les compagnies aériennes lorsque les opérations risquent de dépasser la capacité de l'aéroport et faciliter l'ajustement des plannings pour éviter ce dépassement.
- Participer à toutes les conférences sur les SLOTS.

II.1.2.3 Aéroports de niveau 3 (level 3 airports)

Un aéroport de niveau 3 est caractérisé par les éléments suivants :

- La demande sur l'infrastructure dépasse largement la capacité de l'aéroport pendant la période concernée.
- L'expansion de l'infrastructure pour répondre à la demande n'est pas possible à court terme.
- Les tentatives de résoudre le problème par des ajustements d'horaires d'opérations ont échoué ou se sont avérées inefficaces.
- En conséquence, un processus d'allocation de créneaux est nécessaire, obligeant toutes les compagnies aériennes et autres avions opérant sur cet aéroport à obtenir un créneau

attribué par un coordinateur pour leurs arrivées et départs, en respectant les créneaux déjà alloués.

L'autorité compétente doit s'assurer de la nomination d'un coordinateur, qui sera en consultation permanente avec le gestionnaire de l'aéroport et les compagnies aériennes opérant sur l'aéroport, afin de :

- Attribuer les créneaux aux compagnies aériennes et autres avions de manière transparente et non discriminatoire, en suivant les paramètres de la coordination applicable et les critères d'allocation des créneaux définis dans le document IATA WSG et toute autre recommandation ou réglementation locale.
- Partager avec toutes les parties prenantes les paramètres de la coordination applicable, les recommandations et réglementations locales, ainsi que tout autre critère utilisé dans le processus d'allocation des créneaux, au moins sept (7) jours avant la date limite de soumission initiale pour chaque conférence sur les SLOTS, si possible.
- Communiquer au gestionnaire de l'aéroport et aux compagnies aériennes, dès la distribution des messages de liste d'attribution initiale des créneaux (SALs), une liste des créneaux attribués, des créneaux restants disponibles et les raisons de la non-attribution des créneaux demandés.

II.2 Processus d'allocation de créneaux

Il existe deux processus d'attribution des créneaux : créneaux stratégiques d'aéroports et créneaux de contrôle du trafic aérien (dits créneaux ATC) [7,2].

II.2.1 Créneaux stratégiques d'aéroports

II.2.1.1 Aéroports coordonnés

On appelle : « aéroport coordonné » tout aéroport où, pour atterrir ou décoller, un transporteur aérien ou tout autre exploitant d'aéronef doit s'être vu attribuer un créneau horaire par un coordonnateur, à l'exception des vols d'Etat, des atterrissages d'urgence et des vols humanitaires. (Règlement (CE) N°793/2004)

L'Association internationale du transport aérien (IATA) a établi un ensemble de règles dans le document WSG (World Wide Slot Guidelines) pour aider les aéroports du monde entier à gérer leur capacité grâce à la coordination stratégique des créneaux. Selon le WSG, si la demande dans un aéroport dépasse sa capacité, celui-ci doit être « coordonné ».

Ce processus vise également à maximiser l'utilisation efficace des infrastructures aéroportuaires. Cependant, la coordination n'est pas une solution au problème fondamental de capacité insuffisante des aéroports ; elle est plutôt considérée comme une mesure temporaire pour gérer l'infrastructure encombrée en attendant la mise en œuvre d'une solution à long terme, qui passe par l'expansion de la capacité aéroportuaire.

II.2.1.2 Processus d'attribution de créneaux stratégiques aéroportuaires

Avant de répartir les créneaux horaires, il est essentiel de déterminer la capacité disponible de chaque aéroport concerné. Pour ce faire, les autorités compétentes se réunissent deux fois par an, en se basant sur la saison estivale (été (7 mois), du dernier dimanche de mars au dernier samedi d'octobre) et la saison hivernale (hiver (5 mois), du dernier dimanche d'octobre au dernier samedi de mars). Les données collectées sont ensuite transmises au coordonnateur.

Une fois la capacité déterminée et déclarée, les compagnies aériennes soumettent leurs demandes de créneaux pour la saison à venir.

Les compagnies aériennes ayant exploité au moins 80 % de leurs vols attribués durant la saison précédente bénéficient de créneaux historiques. Pourquoi 80% ? Pour se donner une marge de sécurité afin de faire face aux annulations de vols pour grève, incidents techniques, phénomènes météorologiques etc.

Après avoir reçu la confirmation de leurs créneaux horaires, les compagnies aériennes publient leurs horaires et fournissent ces informations dans le guide officiel de la compagnie aérienne (OAG).

Les compagnies aériennes ont la possibilité d'échanger des créneaux horaires si nécessaire. Par exemple, en 2016, Air France a vendu une paire de créneaux à Oman Air pour 75 millions de dollars.

II.2.2 Créneaux de contrôle du trafic aérien (Créneaux ATC)

Pendant les phases pré-tactiques et tactiques de la gestion du flux de trafic aérien (ATFM), si la demande pour un aéroport ou un secteur de l'espace aérien dépasse la capacité, il peut être nécessaire de mettre en œuvre une mesure ATFM pour rééquilibrer la demande et la capacité.

II.2.2.1 Mise en œuvre de créneaux basé sur mesure ATFM

Comme expliqué dans le chapitre I, de nombreuses mesures ATFM existent pour équilibrer la capacité et la demande.

L'une des plus efficaces est la mesure ATFM basée sur les créneaux (GDP). Ces mesures impliquent la création de créneaux à l'aéroport contraint, convertis en temps hors bloc calculés (COBT) ou heures de décollage calculées (CTOT) à partir des points d'origine. Les COBT et/ou CTOT sont ensuite attribués aux vols, qui doivent s'y conformer.

Ces créneaux sont à ne pas confondre avec les créneaux aéroportuaires stratégiques, attribués avant le début de la saison de vol en fonction de la capacité déclarée des ressources.

Les créneaux basés sur les mesures ATFM, comme le GDP, sont mis en œuvre lorsque les capacités opérationnelles réelles sont réduites ou insuffisantes par rapport à la demande en raison de circonstances imprévues (par exemple, conditions météorologiques, accidents) ou de perturbations particulières (par exemple, activités militaires).

II.2.2.2 Processus d'attribution de créneaux de contrôle du trafic aérien

Le créneau ATC correspond au CTOT attribué à un vol dans le cadre de créneau basé sur la mesure ATFM.

Les avions doivent s'assurer de décoller (ou de repousser, s'il s'agit d'un EDCT) dans l'intervalle de temps qui leur a été attribué, généralement -5 minutes à +10 minutes par rapport au CTOT.

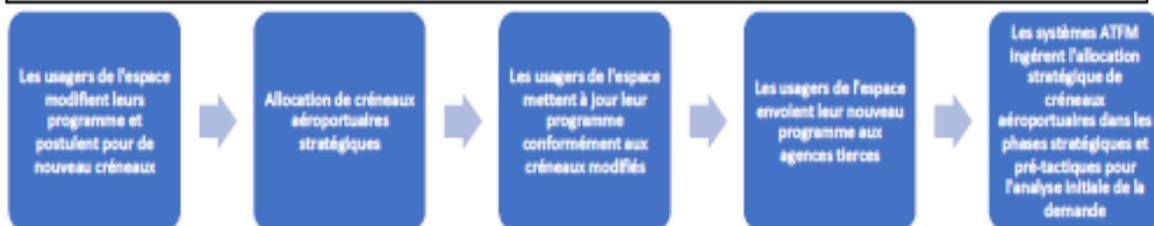
Si un vol ne peut pas respecter son créneau, un processus CDM doit être en place, permettant à l'exploitant de l'aéronef d'échanger son créneau avec d'autres vols ou d'obtenir un créneau vacant si disponible. Si un créneau ATC est émis, il aura toujours la priorité sur le créneau aéroportuaire stratégique.

Le processus d'attribution des créneaux est illustré dans le dessin suivant :

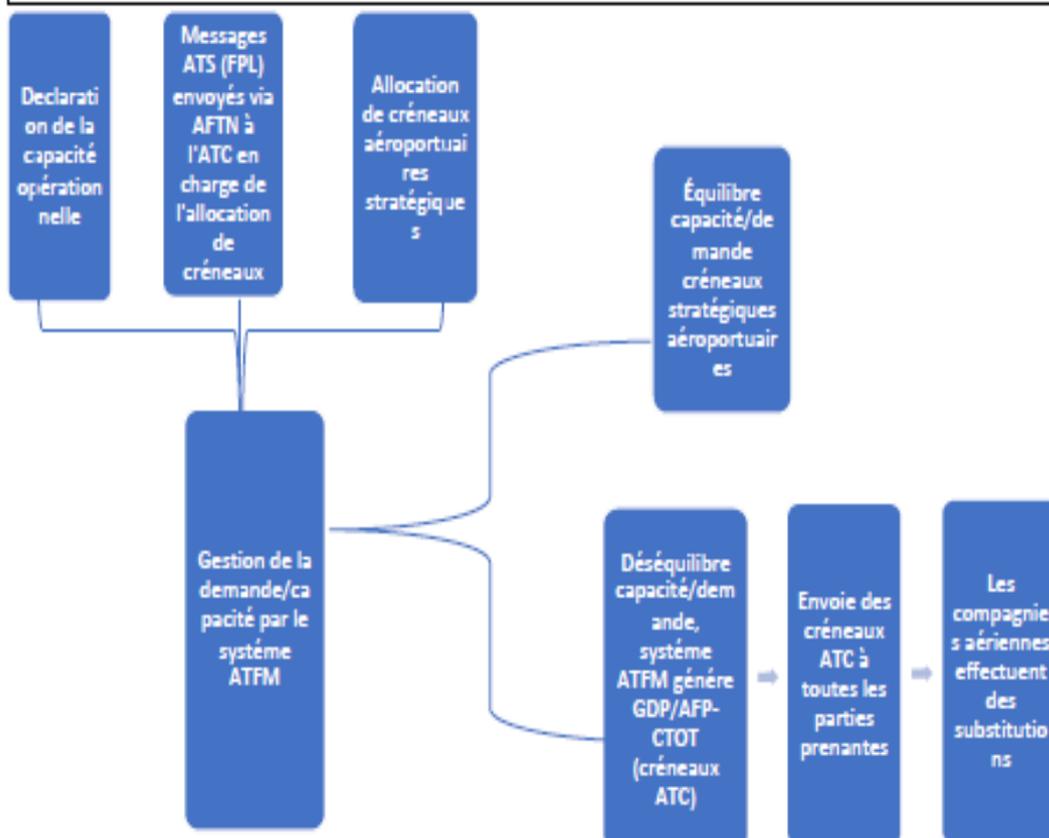
Plus de six mois avant le jour des opérations



Six mois ou moins avant le jour qui précède le jour des opérations



Le jour des opérations

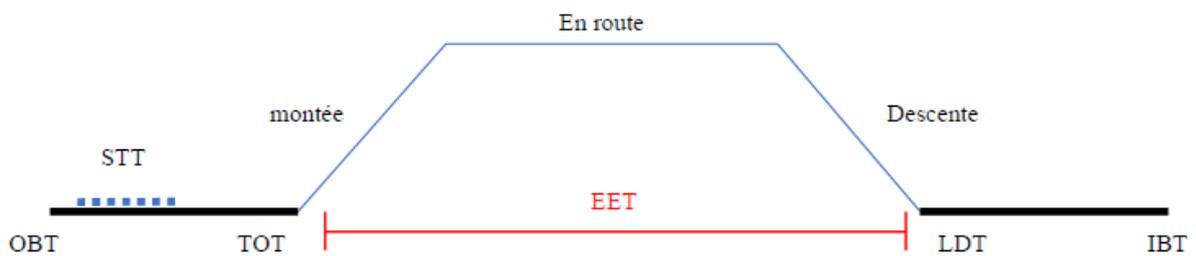


II.2.2.3 Calcul du CTOT

Le CTOT est l'heure de décollage de la piste (trains en l'air) assignée à un aéronef dans un programme de retardement au sol (GDP). Elle est calculée en prenant en compte le temps estimé de vol et le créneau d'arrivée prévu.

Cette donnée est essentielle pour organiser les départs des avions, prévenir les retards et garantir une gestion optimale de l'espace aérien et des aéroports.

❖ Calcul du CTOT aéroport :

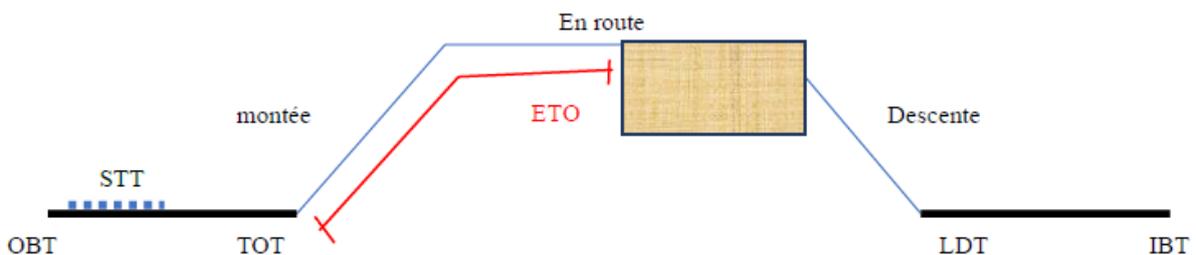


$$ETOT = EOBT + STT$$

$$ELDT = ETOT + EET$$

$$CTOT = CLDT - EET$$

❖ Calcul du CTOT secteur :



$$ETO = ETOT + EET$$

$$CTOT = CTO - EET$$

Pour assurer le succès du GDP, il est crucial que les avions décollent le plus près possible de leurs CTOT afin de garantir la livraison précise des aéronefs à l'aéroport impacté. L'ATC doit veiller à ce que chaque avion ayant reçu un CTOT décolle dans un intervalle de temps de -5 minutes du CTOT au plus tôt et +10 minutes du CTOT au plus tard.

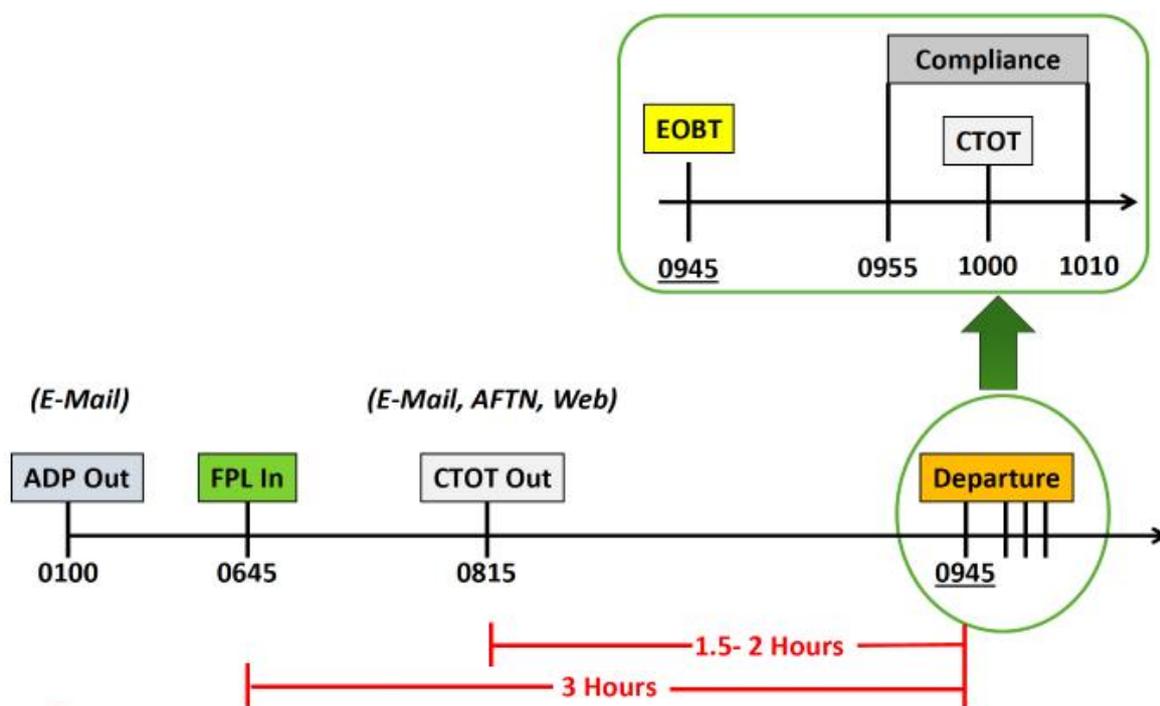


Figure II.1 : intervalle CTOT. [2]

II. 3 Méthodologies de calcul du CTOT

II.3.1 La FAA (Federal Aviation Administration)

La FAA utilise la plateforme FSM qui compile les données des vols réguliers et les plans de vols des centres de contrôle du trafic en route (ARTCC : Air Route Traffic Control Centers).

Cette plateforme est utilisée pour calculer et par la suite afficher graphiquement la demande pour les arrivées et/ou les départs dans les aéroports.

Lorsqu'il est observé que la demande (les arrivées) dépasse ou va dépasser la capacité d'un aéroport, un GDP est modélisé via la plateforme FSM, qui va attribuer des créneaux d'arrivée aux avions en tenant compte de la capacité disponible et des heures prévues d'arrivée des vols.

Il organise ainsi les retards dans un ordre séquentiel jusqu'à ce que la demande soit équilibrée avec la capacité.

Des CTOT sont émis pour chaque avion individuellement afin de garantir leur arrivée à l'aéroport impacté et leur atterrissage sans attente. Les CTOT sont affichés sur les strips de tous les avions, et les ATCs veillent à ce que les avions respectent leur CTOT en décollant à plus ou moins cinq minutes de celle-ci. [8]



Figure II.2 : Interface FSM. [8]

La FAA a développé un site web permettant aux exploitants d'aéronefs de consulter leur CTOT (ou EDCT) assignée. Pour ce faire, il leur suffit d'entrer leur indicatif d'appel, ainsi que les aéroports de départ et d'arrivée (consultez la figure II. 3 ci-dessous).

The screenshot shows the FAA website's 'Air Traffic Control System Command Center' page. At the top, there is a navigation bar with the FAA logo and the text 'Federal Aviation Administration'. Below this, the page title is 'Air Traffic Control System Command Center'. A secondary navigation bar contains links for 'ATCSCC Home', 'Products', 'What's New', 'Site Map', 'ATCSCC FAQ', and 'Text-Only Version'. The main content area is titled 'EDCT Lookup' and contains the following text:

From this page, individual aircraft operators can determine if an Expect Departure Clearance Time (EDCT) has been issued for their specific flight. **The flight plan must have been filed and transmitted to ETMS for any flight to be considered in any delay program.** The Three items listed below must be known and they must be entered exactly as they were in the flight plan in order to obtain the EDCT information.

The EDCT Lookup function does not provide information regarding the type of delay program associated with the EDCT (i.e. Airspace Flow or Ground Delay); this information may be available via the ATCSCC [Advisories Database](#).

Federal and State Government organizations wishing to have their data blocked should [contact the FAA](#).

The form contains three input fields: 'CALL SIGN *' (with example 'N123AX, N65FS'), 'ORIGIN *' (with example 'BOS, KIAD'), and 'DESTINATION *' (with example 'ORD, CYYZ'). There are 'Reset' and 'Lookup EDCT' buttons.

Below the form, there is a red note: '* Required Fields' and 'NOTE: A flight's EDCT may change given the dynamic nature of a delay program. We recommend that you confirm your flight's EDCT 45 minutes or less prior to departure.'

The footer contains links for 'firstgov.gov', 'Privacy Policy', 'Web Policies & Notices', 'Site Map', 'Contact Us', 'Frequently Asked Questions', 'Forms', and 'ATCSCC Privacy Policy'. It also includes the U.S. Department of Transportation logo and address: 'Federal Aviation Administration, 800 Independence Avenue, SW, Washington, DC 20591'. At the bottom right, there is a watermark for 'Activer Windo'.

Figure II. 3 : Interface site web EDCT [2]

II.3.2 Eurocontrol

Un gestionnaire de réseau opérationnel couvre toute l'Europe, supervisant plus de dix millions de vols par an. Ce gestionnaire reçoit tous les plans de vol des vols commerciaux dans sa zone de responsabilité (IFPZ (voir Figure II. 5)), ainsi que les capacités déclarées des centres de contrôle aérien et des aéroports à travers le continent.

Le CFMU (Central Flow Management Unit) est un organe d'Eurocontrol chargé d'assurer l'optimisation de la performance du réseau de trafic aérien européen à travers la planification, la coordination est l'implémentation des mesures ATFM. Pour assurer sa fonction le CFMU utilise plusieurs systèmes, les plus importants sont : l'ETFMS (Enhanced Tactical Flow Management System) et l'IFPS (Integrated Initial Flight Plan Processing System).

Le principal outil de régulation utilisé par le CFMU consiste à retarder les avions au sol par le biais de l'allocation de créneaux de décollage. Ce processus, partiellement automatisé en Europe grâce au système CASA (Computer Assisted Slot Allocation), commence par l'allocation d'un créneau de passage dans le secteur saturé. À partir de cela, un créneau de décollage est déduit en fonction des prévisions de temps de parcours.

Une fois que le plan de vol (FPL) est traité, le système tactique alloue un créneau. L'allocation définitive intervient 2 heures avant l'heure estimée de départ hors bloc (EOBT) et il est automatiquement transmis aux usagers et au service de contrôle (ATC). Ce créneau est communiqué dans un message d'allocation de slot (SAM) fournissant un CTOT (Calculated Take-Off Time).

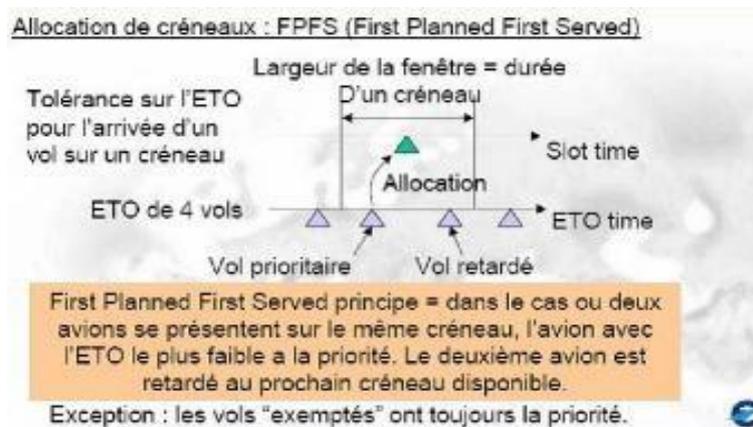


Figure II. 4 : Allocation de créneaux FPFS.

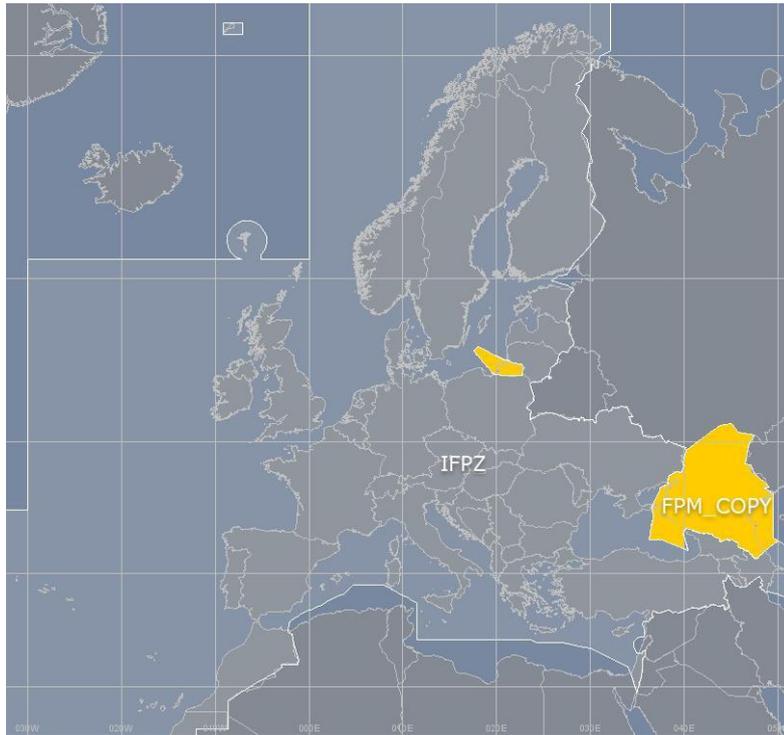


Figure II.5 : IFPS Zone (IFPZ). [10]

II.3.2.1 Message d'allocation de slot (SAM)

-Quand le CFMU envoie-t-il un SAM ?

Un SAM est envoyé aux AOs / ATS chaque fois qu'un vol devient régulé (nouveau vol entrant dans le système, nouvelle période de régulation dans le système, en réponse à une nouvelle RVR fournie par un FCM (Flight confirmation message) ou un CHG (Change Message) après une suspension), mais au plus tôt 2 heures avant le dernier EOBT reçu.

```
-TITLE SAM  
  
-ARCID AMC101  
  
-IFPLID AA12345678  
  
-ADEP EGLL  
  
-ADES LMML  
  
-EOBD 210901  
  
-EOBT 0945  
  
-CTOT 1030  
  
-REGUL UZZU01M  
  
-TAXITIME 0020  
  
-REGCAUSE CE 81
```

Figure II.6 : Message d'allocation de Slot (SAM). [9]

Le SAM est utilisé pour informer les AOs et les ATS de l'heure de décollage calculée (CTOT) pour un vol individuel.

-Quelle est la réaction des AOs / ATS ?

Ils doivent se conformer à l'heure de décollage calculée. Un créneau est délivré sous la forme d'une heure de décollage calculée (CTOT), définie comme l'heure à laquelle l'aéronef doit décoller. Le calcul de l'heure de décollage prend en compte les temps hors bloc et un temps de roulage moyen pour la piste en service au moment du décollage.

Le contrôleur est chargé de veiller au respect du créneau, un avion peut décoller 5 mn avant son créneau il ne peut plus décoller 10 mn après le créneau. On peut donc dire que le <slot >a une validité de H - 5mn a H + 10mn, où H est le créneau.

II.3.2.2 Slot Revision Message (SRM)

-Quand le NM envoie-t-il un SRM?

Un SRM peut être envoyé par le Network manager (NM) :

a) pour notifier toutes les personnes concernées d'un changement significatif (>5') par rapport au CTOT initial, une modification de la réglementation la plus pénalisante, ou les deux. Ces changements sont dus à des circonstances sans rapport avec le vol, par exemple l'introduction d'une nouvelle restriction ou la modification des paramètres d'une restriction existante. Par défaut, seuls les vols en statut RFI (Ready For Improvement) ou en état Prêt (REA) sont pris en compte pour l'amélioration. Si la situation l'exige, les contrôleurs de flux CFMU sont en mesure de permettre à tous les vols, y compris ceux en statut Slot Improvement Proposal Wanted Message (SWM), d'être pris en compte pour l'amélioration.

b) En réponse à une DLA, un CHG ou un DPI (Departure Planning Information), lorsque le CTOT actuel n'est plus conforme aux nouvelles informations.

c) Pour notifier toutes les parties concernées d'une amélioration de routine du CTOT par le biais de la procédure de révision pour un vol en statut RFI ou en statut Prêt (REA).

d) En réponse à un SPA (Slot Proposal Acceptance) valide pour informer toutes les parties concernées l'amélioration du CTOT.

e) En cas de modification de la réglementation la plus pénalisante. [9]

-Quelle est la réponse des AO / ATS ?

Ils doivent se conformer au NEWCTOT.

```
-TITLE SRM  
  
-ARCID AMC 101  
  
-IFPLID AA12345678  
  
-ADEP EGLL  
  
-ADES LMML  
  
-EOBD 080901  
  
-EOBT 0945  
  
-NEWCTOT 1200  
  
-REGUL LMMLA01M  
  
-TAXITIME 0010  
  
-REGCAUSE AA 83
```

Figure II.7 : Slot Revision Message (SRM). [9]

II.3.2.3 Le champ REGUL

Le champ -REGUL indique le nom de la régulation affectant le vol.

Plusieurs champs -REGUL peuvent être présents, le premier représente la régulation la plus pénalisante pour le vol. Les autres régulations sont ceux dont l'heure d'entrée calculée se situe à l'intérieur de la période de régulation.

- Le champ -**REGUL** est construit comme suit :
 - ✓ L'emplacement de la régulation (secteur ATC, aérodrome...).
 - ✓ Date de la régulation.
 - ✓ Période de la journée ou la régulation est active : M=Morning, A=Afternoon, N=Night, E=Early morning, et X=Other.

EX : -REGUL UZZU01A : emplacement UZZU, période après-midi la date 01

II.3.2.4 Le champ REGCAUSE

Afin de fournir une nomenclature plus spécifique pour les causes de retard et, en même temps, de faciliter l'analyse après le vol, le champ ADEXP -REGCAUSE comprend :

- a) le code de la cause du régulation (code d'une lettre correspondant à la cause attribuée par le NM à la régulation la plus pénalisante).
- b) le code de localisation du régulation (code d'une lettre correspondant à la cause attribuée par le NM à la régulation le plus pénalisant) : D, E ou A), décrivant la phase du vol (départ, en route et arrivée) affectée par la régulation la plus pénalisante.
- c) Un espace.
- d) Le code de retard IATA en chiffres (par exemple 81, 82, 83, 89) ou 00 si aucun code IATA n'est disponible. La mention -REGCAUSE apparaît dans les messages SAM et SRM et n'est associée qu'à la régulation la plus pénalisante. Le code figurant dans le message est le code valable au moment où le retard a été communiqué au vol.

II.3.2.5 Slot Requirement Cancellation (SLC) Message

- Quand le CFMU envoie-t-il un SLC ?

Un SLC est envoyé aux AO / ATS pour les informer qu'un vol ayant reçu un CTOT n'est plus régulé. Cela peut être dû à la modification des paramètres d'une régulation existante ou à son annulation, à la réception d'un message d'AO tels que DLA, CHG et FCM, ou d'un message DPI de la plate-forme CDM.

Note : Lorsque l'EOBT actuel est plus de 15 minutes, un message -COMMENT PLEASE UPDATE EOBT WITH A DLA MSG sera inclus dans le SLC pour rappeler l'AO de mettre à jour son EOBT en envoyant un DLA.

Cela peut également être dû à la réception d'un message CNL(Cancel) de la part des AO.

```
-TITLE SLC
-ARCID AMC101
-IFPLID AA12345678
-ADEP EGLL
-ADES LMML
-EOBD 080901
-EOBT 0945
-REASON VOID
-COMMENT FLIGHT
CANCELLED
-TAXITIME 0020
```

Figure II.8 : Slot Requirement Cancellation (SLC) Message.[9]

Note : Dans cet exemple, le champ -COMMENT FLIGHT CANCELLED est présent parce que le créneau est annulé en raison de l'annulation du plan de vol.

Un SLC ne garantit pas que le vol ne sera pas soumis à d'autres régulations. Si, après réception de la SLC, une nouvelle régulation est imposée qui affecte le vol, l'AO recevra un nouveau SAM.

-Quelle est la réaction des AO / ATS ?

Un vol peut décoller en fonction de son EOBT. Les départs de l'A-CDM devront se conformer au TTOT (Target Take-Off Time) correspondant.

Lorsque le SLC est émis après EOBT + 15 minutes, l'AO doit mettre à jour son EOBT en envoyant un DLA à l'IFPS.

II.3.2.6 Ready (REA) Message

Ce message est envoyé par l'aéroport de départ/FMP pour un vol régulé à l'ETFMS pour indiquer que le vol est prêt au départ (il recherche une amélioration de son créneau).

Note : Le message REA peut être envoyé dans l'intervalle de temps [EOBT-15', CTOT]

- Il faut l'autorisation de la TWR pour envoyer le REA.
- Si le MSG REA est correct l'ETFMS n'envoie pas un MSG pour notifier sa réception.
- Le statut REA peut être annulé par l'envoi d'un message qui amende EOBT.

```
-TITLE REA  
  
-ARCID ABC101  
  
-ADEP EGLL  
  
-ADES LMML  
  
-EOBD 080901  
  
-EOBT 1030  
  
-MINLINEUP 0005
```

Figure II.9 : Ready message. [9]

II.4 Conclusion

Au fur et à mesure que le trafic continue de croître et que les opérations de réseau en étoile continuent d'augmenter, l'attribution de créneaux devient omniprésente dans les régions du monde où la demande actuelle dépasse de loin l'attribution initiale de créneaux.

En résumé, le calcul du CTOT dépend de divers facteurs tels que la capacité des aéroports, les conditions météorologiques et les restrictions de l'espace aérien.

Le CTOT revêt une grande importance car il permet de réguler le trafic aérien en permettant aux compagnies aériennes de planifier leurs vols et de s'assurer que leurs avions décollent et atterrissent à l'heure prévue sans subir de retard en route.

Chapitre III : Centre ATS de Nouakchott

III. Chapitre III : Centre ATS de Nouakchott

III.1 Historique

L'aéroport le plus ancien du pays est celui de Nouadhibou, qui existait bien avant 1910. Après l'indépendance, l'aéroport de Nouadhibou (NDB) restait le principal point d'accueil du trafic aérien national et international jusqu'au début des années 80. Par la suite, le gouvernement mauritanien a entrepris des travaux pour transformer l'aéroport de Nouakchott en principal aéroport du pays.

À partir de l'an 2000, la ville de Nouakchott s'est étendue, entourant l'aéroport de bâtiments de toutes parts, le plaçant ainsi au centre de la ville. Pour cette raison et pour d'autres raisons techniques, le gouvernement a décidé de construire un nouvel aéroport, l'Aéroport International Nouakchott Oumtounsy (AINO).

III.2 Situation géographique

Cet aéroport est situé à 14 NM (25 km) au nord-est du centre-ville, dispose de deux pistes et est capable d'accueillir les plus gros avions actuels, tels que l'A380 et le Boeing 747. Il a commencé à accueillir des vols le 23 juin 2016.

Les coordonnées du point de référence (l'ARP) de l'Aéroport International de Nouakchott Oumtounsy, qui est l'intersection des axes de la piste principale et du taxiway B, sont 18°18'36''N 015°58'11''W, et son indicatif d'emplacement est GQNO. [11]

Autres données caractéristiques :

Altitude de 3 m (9 pieds),

Déclinaison magnétique de 6°W (2015),

Superficie de 17,251 km²,

Indicatif IATA : NKC.

III.3 Organisation administrative

L'aéroport de Nouakchott est la propriété de l'État mauritanien, avec l'Agence Nationale de l'Aviation Civile (ANAC) comme principal organisme responsable. Deux entités assurent la gestion technique et commerciale de la plateforme aéroportuaire :

- Le gestionnaire commercial : AFROPORT
- Le gestionnaire technique : l'Agence pour la sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA), dont la mission principale est de fournir des services de navigation aérienne dans les espaces aériens de ses États membres.

La première convention créant l'ASECNA a été signée à Saint-Louis du Sénégal le 12 décembre 1959. Couvrant un espace aérien de 16 127 000 km² (soit 1,5 fois la superficie de l'Europe), l'Agence est responsable de fournir les services de navigation aérienne en route dans les espaces aériens qui lui sont attribués, ainsi que des services de circulation aérienne d'approche et d'aérodrome. Elle assure également les services de lutte contre l'incendie et de sauvetage des aéronefs, la publication d'informations aéronautiques, et la prévision et la transmission des informations météorologiques aéronautiques.

Au moment où la tendance est au "ciel unique", l'ASECNA représente un modèle historique d'organisme régional dédié à la gestion coopérative des espaces aériens et à la fourniture de services de sécurité de la navigation aérienne. Aujourd'hui, elle compte 19 États membres, dont la France et 18 pays africains : le Bénin, le Burkina Faso, le Cameroun, la République centrafricaine, le Congo, la Côte d'Ivoire, le Gabon, la Guinée-Bissau, la Guinée équatoriale, Madagascar, le Mali, **la Mauritanie**, le Niger, le Rwanda, le Sénégal, le Tchad, le Togo et l'Union des Comores.

L'ASECNA se distingue par son vaste champ d'action, supervisant 6 Régions d'Information de Vol (FIR), 10 centres de contrôle régionaux, 57 tours de contrôle, 25 aéroports internationaux et 76 aéroports nationaux et aussi par sa politique d'autonomie en matière de formation.

Pour améliorer la sécurité, l'ASECNA coopère avec divers organismes internationaux tels que l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale), l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale), l'IATA (Association Internationale du Transport Aérien), ainsi

qu'avec les États ou organismes étatiques fournissant des services de navigation aérienne dans les espaces adjacents, comme l'Algérie.

À l'Aéroport International de Nouakchott Oumtounsy (AINO), ASECNA offre les services suivants :

III.3.1 Activité exploitation aérodrome

Elle se compose de trois unités principales :

III.3.1.1 Unité CA

Responsable de la Tour de contrôle, cette unité coordonne toutes les activités de l'organisme TWR/APP. La Tour de contrôle gère le trafic aérien dans l'espace aérien situé dans les limites de la TMA et de la CTR de Nouakchott.

III.3.1.2 Unité AIM (Gestion de l'Information Aéronautique)

Située à proximité de l'aire de trafic, cette unité a deux missions :

- Assistance locale : traitement des plans de vol et gestion des messages ATS, coordination interne et externe avec toutes les structures opérationnelles du centre.
- Information locale : collecte, vérification et transmission des données aéronautiques aux structures de publication (BNI et SIA), et publication de NOTAMs.

III.3.1.3 Unité SLI (Sauvetage et Lutte contre l'Incendie)

Sa mission principale est de sauver des vies et des biens en cas d'accident. Elle assiste également les aéronefs lors des phases d'atterrissage et de décollage, surveille le parking, et effectue des visites régulières de la piste. Le niveau de protection requis est de niveau 7, et celui assuré à l'aérodrome de Nouakchott est de niveau 8.

III.3.2 Activité Contrôle En Route

Sous la responsabilité du chargé du contrôle en route, elle est divisée en trois unités :

III.3.2.1 Exploitation TELECOM

Cette unité comprend deux entités, dont le Centre Automatique de Transit (CAT). Tous les messages à destination ou en provenance de Nouakchott et de Nouadhibou transitent par le CAT de Nouakchott.

Elle utilise deux liaisons pour l'acheminement des messages : le RSFTA (liaison OACI) et le MESSIR-COMM (liaison OMM pour les messages météorologiques).

III.3.2.2 Unité Opération ATC

Responsable du Centre de Contrôle Régional (CCR) de Nouakchott, ouvert le 20 novembre 2008. Il fournit des services de contrôle (approche et en route), d'information et d'alerte pour les aéronefs dans sa zone de responsabilité, à savoir l'UTA de Nouakchott. Il offre également des services d'information de vol et d'alerte pour les vols non contrôlés (IFR et VFR) dans l'espace FIR (espace situé en dessous du FL245 et en dehors des TMAs de Nouakchott et de Nouadhibou dans les mêmes limites latérales que l'UTA).

Le CCR de Nouakchott, avec l'indicatif « Nouakchott Control », émet sur la VHF 124.2 MHz et les fréquences HF suivantes : 8861 KHz, 8894 KHz, 6535 KHz, 5565 KHz.

III.3.2.3 Unité Qualification/Intégration du Personnel

Chargée de la formation et de la qualification des contrôleurs, ainsi que du contrôle de compétence et du maintien de leurs qualifications.

III.3.3 Activité Météorologie

Cette activité assure l'assistance météorologique à la navigation aérienne en effectuant des observations toutes les 30 minutes à travers les stations d'observation et en établissant des prévisions aéronautiques. Elle se divise en trois unités :

- Unité Qualification/Intégration du Personnel
- Unité Prévision/Protection
- Unité Réseau

III.3.4 Activité Maintenance des Infrastructures Radioélectriques

Chargée de la surveillance et de la maintenance des équipements CNS, radios électriques et balisage. Elle se compose de quatre unités :

- Unité Énergie/Balisage ;
- Unité CNS/Météo ;
- Unité RSI ;
- Unité QIP.

III.3.5 Activité Maintenance des Infrastructures et Génie Civil

Sa mission principale est la maintenance du patrimoine et des véhicules de la représentation de l'ASECNA en Mauritanie. Elle comprend trois unités :

- Unité Véhicules et Transport ;
- Unité Pistes et Voiries ;
- Unité Patrimoine.

III.4 Plate-forme et Environnement

III.4.1 Plate-forme aéroportuaire

L'aéroport international de Nouakchott Oumtounsy dispose de deux pistes sécantes, et de neuf (9) voies de circulation reliant les deux pistes aux aires de stationnement (voir la figure suivante) [12] :

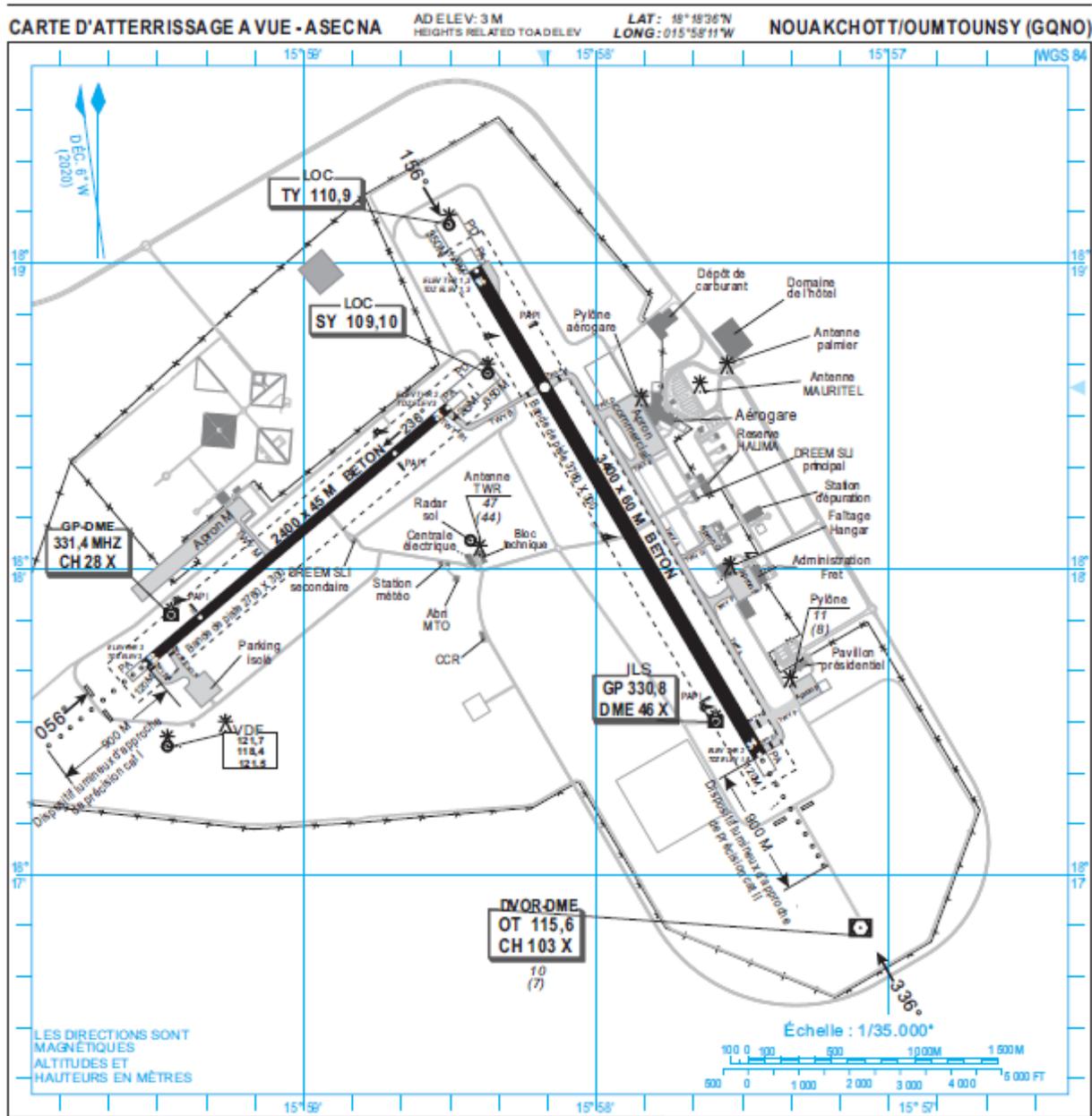


Figure III.1 : carte d'atterrissage. [12]

Les tableaux suivants décrivent les caractéristiques des deux pistes, des voies de circulation et des aires de stationnement.

Tableau III.1 : caractéristiques des pistes. [13]

| Piste | 16/34 | 06/24 |
|-------------------|----------------|----------------|
| Nature | Béton | Béton |
| Portance | PCN 99/R/B/W/T | PCN 99/R/B/W/T |
| Orientation vraie | 149,7°/329,7° | 049,7°/229,7° |

| | | |
|------------------------|-----------|-----------|
| Déclinaison magnétique | 06W | 06W |
| Orientation magnétique | 156°/336° | 056°/236° |
| Longueur | 3400m | 2400 |
| Largeur | 60m | 45 |
| Pente de la piste | 1,5% | 1,5% |
| Dimension de la bande | 3760*300 | 2760*300 |

Tableau III.2 : distances déclarées. [13]

| Distances déclarées QFU | TORA | TODA | ASDA | LDA |
|-------------------------------|------|------|------|------|
| 34 | 3400 | 3750 | 3520 | 3400 |
| 16 | 3400 | 3400 | 3520 | 3400 |
| 06 | 2400 | 2750 | 2520 | 2400 |
| 24 | 2400 | 2400 | 2520 | 2400 |

Tableau III.3 : caractéristiques des voies de circulation. [13]

| Voie de circulation | Largeur | Portance |
|---------------------|---------|------------|
| A | 25 | 99/R/B/W/T |
| B | 23 | 98/R/B/W/T |
| E | 25 | 98/R/B/W/T |
| D | 25 | 98/R/B/W/T |
| P | 25 | 98/R/B/W/T |
| G | 12 | 50/R/B/W/T |
| F | 25 | 98/R/B/W/T |
| R | 25 | 98/R/B/W/T |
| M | 23 | 50/R/B/W/T |

Tableau III.4 : Caractéristiques des aires de stationnement [13]

| Aires de stationnement | | Surface | Portance |
|----------------------------------|-----------------------|---------|------------|
| Aires de stationnement civile | Commercial | 370*100 | 98/R/B/W/T |
| | Fret | 160*92 | 98/R/B/W/T |
| | Pavillon présidentiel | 150*120 | 98/R/B/W/T |
| | Isolé | 160*98 | 98/R/B/W/T |
| | Aviation générale | 145*85 | 50/R/B/W/T |
| Aires de stationnement militaire | | 115*100 | 50/R/B/W/T |

III.4.2 Environnement

III.4.2.1 CTR de Nouakchott

Il s'agit d'une portion d'espace aérien contrôlé de classe D, s'étendant verticalement du sol/mer jusqu'à 600 m (2000 pieds) et horizontalement en un cercle de 25 NM de rayon centré sur le VOR/DME "OT".

III .4.2.2 TMA de Nouakchott

La TMA de Nouakchott est divisée en deux étages :

- Le premier étage, appelé TMA1, est une portion d'espace aérien contrôlé de classe D, s'étendant verticalement de 600 m au-dessus du sol/mer jusqu'au niveau de vol 145.
- Le deuxième étage, appelé TMA2, est une portion d'espace aérien contrôlé de classe A, s'étendant verticalement du niveau de vol 145 jusqu'au niveau de vol 245, qui constitue le niveau de partage entre la tour/approche et le CCR.

III.4.2.3 UTA de Nouakchott

L'UTA de Nouakchott est une portion d'espace aérien de classe A, s'étendant verticalement du niveau de vol FL245 à illimité. Le CCR de Nouakchott gère une portion d'espace aérien inférieur de classe G, située en dessous de l'UTA, à l'exclusion des CTR/TMA de Nouakchott et de Nouadhibou.

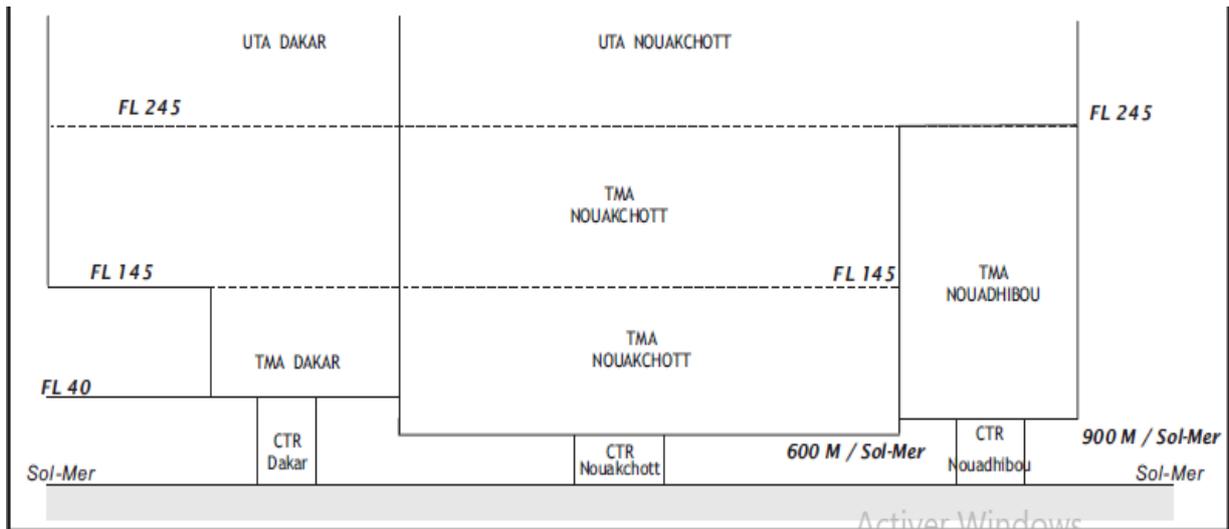


Figure III.2 : coupe verticale de la TMA de Nouakchott [12]

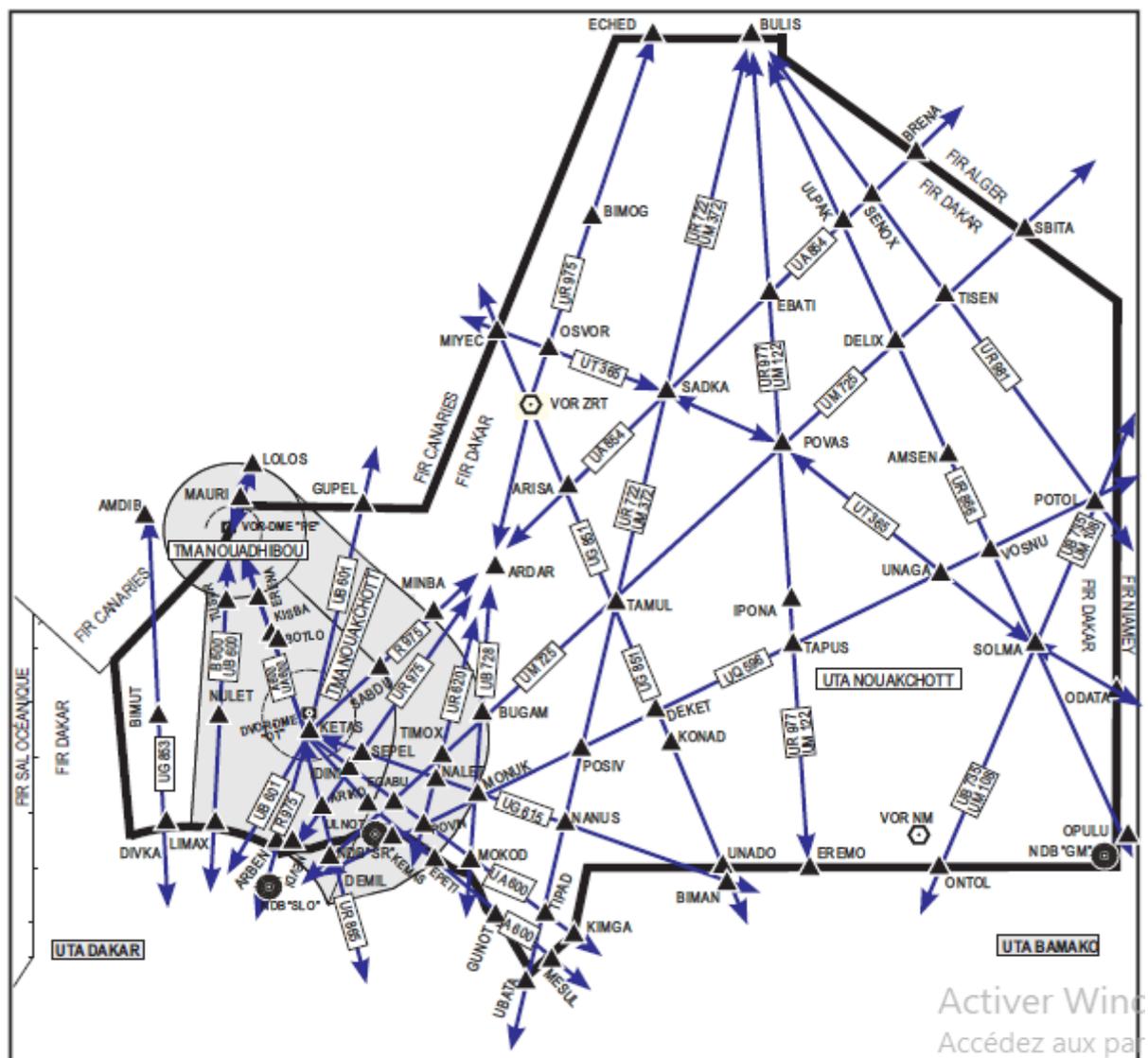


Figure III.3 : UTA de Nouakchott [12]

III.4.3 Espaces aériens Adjacents et Organismes voisins

Le tableau suivant résume tous les organismes voisins de l'UTA de Nouakchott :

Tableau III.5 : organismes voisins à l'UTA de Nouakchott [2]

| Espace | Organisme | Indicatif d'appel | Horaire | Fréquence |
|------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|------------|
| UTA Dakar | CCR de Dakar | Dakar control | H24 | 120,5 Mhz |
| | | | | 129,5 Mhz |
| | | | | 11291 Khz |
| | | | | 6535 Khz |
| UTA Bamako | CCR de Bamako | Bamako control | H24 | 125,4 Mhz |
| | | | | 8861 Khz |
| FIR/UIR Niamey | CCR de Niamey | Niamey control | H24 | 131,30 Mhz |
| | | | | 8894 Khz |
| | | | | 8903 Khz |
| FIR/UIR Casa | CCR de Casa | Casa control | H24 | 126,7 Mhz |
| | | | | 128,8 Mhz |
| | | | | 124,5 Mhz |
| FIR/UIR Canarias | CCR de Canarias | Canarias control | H24 | 133,00 Mhz |
| | | | | 8861 Khz |
| FIR/UIR Alger | CCR d'Alger | Alger control | H24 | 128,1 Mhz |
| | | | | 8894 Khz |
| | | | | 13294 Khz |
| TMA Nouakchott | La tour d'Oumtounsy | Oumtounsy tour | H24 | 118,4 Mhz |
| TMA Nouadhibou | La tour de Nouadhibou | Nouadhibou tour | H24 | 120,8 Mhz |
| A/D Zouérate | AFIS Zouérate | Zouérate AFIS | HJ | 119,7 Mhz |
| A/D Atar | AFIS Atar | Atar AFIS | HJ et HN sur demande | 118,3 Mhz |
| A/D Néma | AFIS Néma | Néma AFIS | HJ | 118,1 Mhz |

III.4.4 Trafic

L'aéroport accueille divers types d'utilisateurs, notamment des opérateurs aériens qui ont établi leur base sur cette plateforme ainsi que ceux dont les aéronefs sont immatriculés en Mauritanie. Parmi eux, on trouve la compagnie Mauritania Airlines, des opérateurs privés, l'aéroclub et la base aérienne. [2]

III.4.4.1 Lignes régulières

Ce tableau présente les compagnies accueillies régulièrement par l'aéroport international de Nouakchott Oumtounsy :

Tableau III.6 : les compagnies régulières à GQNO [2]

| Compagnie aérienne | Code OACI | Code IATA |
|---------------------|-----------|-----------|
| Mauritania Airlines | MAI | L6 |
| Royal Air Maroc | RAM | AT |
| Tunis Air | TAR | TU |
| Air France | AFR | AF |
| Air Algérie | DAH | AH |
| Air Sénégal | SZN | HC |
| DHV | SIV | |
| Binter | IBB | NT |
| Turkish Airlines | THY | TK |
| Swift Air | SWT | WT |

III.4.4.2 L'aviation générale

Le tableau ci-dessous présente les divers avions basés à Nouakchott :

Tableau III.7 : les avions basés à GQNO [2]

| Immatriculation | Type d'avion |
|-----------------|--------------|
| 5TGPA | PA28 |
| 5TGPV | PA28 |

| | |
|-------|-------|
| 5TGRD | ROBIN |
| 5TIMD | C172 |
| 5TBYD | BE20 |
| 5TFTA | PA31 |

III.4.4.3 Aviation Militaire

Bien que l'Aéroport International de Nouakchott Oumtounsy soit un aéroport civil, il gère également des aéronefs militaires.

Tableau III.8 : les avions militaires [2]

| Immatriculation | Type |
|------------------------|-------------|
| 5TMAD | Y12 |
| 5TMAF | C208 |
| 5TMAH | DC3 |
| 5TMAM | Z9 |
| 5TMAN | Z9 |
| 5TMAO | TUCA |
| 5TMAP | TUCA |
| 5TMAS | BN2A |
| 5TMAV | C441 |
| 5TMAY | BN2A |
| 5TMAR | PC6T |
| 5TMAG | C208 |
| 5TMAZ | AW109 |

III.5 Statistiques du trafic

Les tableaux ci-dessous présentent les statistiques du trafic à l'aéroport international de Nouakchott Oumtounsy pour la période de 2011 à 2022 :

Tableau III.9 : Trafic par année à GQNO. [14]

| Trafic par année | | | |
|-------------------------|----------------|------------|--------------|
| Année | ARR/DEP | SUR | TOTAL |
| 2011 | 5960 | 12085 | 18045 |
| 2012 | 7947 | 12685 | 20632 |
| 2013 | 9207 | 12581 | 21788 |
| 2014 | 8659 | 16539 | 25198 |
| 2015 | 8450 | 16316 | 24766 |
| 2016 | 6455 | 16185 | 22640 |
| 2017 | 7437 | 16653 | 24090 |
| 2018 | 7243 | 18047 | 25290 |
| 2019 | 7642 | 17703 | 25345 |
| 2020 | 5091 | 7445 | 12536 |
| 2021 | - | - | 23764 |
| 2022 | - | - | 32597 |

Tableau III.10 : Trafic par tranche horaire à GQNO [14]

| Trafic par tranche horaire à GQNO | | |
|--|----------------|------------|
| Tranche horaire | ARR/DEP | SUR |
| 00h00-00h59 | 353 | 2410 |
| 01h00-01h59 | 153 | 1525 |
| 02h00-02h59 | 112 | 888 |
| 03h00-03h59 | 159 | 743 |
| 04h00-04h59 | 142 | 529 |
| 05h00-05h59 | 51 | 379 |
| 06h00-06h59 | 182 | 370 |
| 07h00-07h59 | 732 | 260 |
| 08h00-08h59 | 267 | 338 |
| 09h00-09h59 | 312 | 362 |
| 10h00-10h59 | 312 | 699 |

| | | |
|-------------|-----|------|
| 11h00-11h59 | 234 | 892 |
| 12h00-12h59 | 280 | 1337 |
| 13h00-13h59 | 288 | 701 |
| 14h00-14h59 | 359 | 533 |
| 15h00-15h59 | 376 | 443 |
| 16h00-16h59 | 290 | 529 |
| 17h00-17h59 | 266 | 531 |
| 18h00-18h59 | 260 | 380 |
| 19h00-19h59 | 249 | 245 |
| 20h00-20h59 | 283 | 462 |
| 21h00-21h59 | 178 | 311 |
| 22h00-22h59 | 435 | 840 |
| 23h00-23h59 | 467 | 1996 |

À partir des deux tableaux ci-dessus, nous avons élaboré trois graphiques (figures III.4, III.5 et III.6). Ceux-ci montrent respectivement l'évolution du trafic arrivée/départ et des survols (figure III.4), l'évolution du trafic total (arrivées, départs et survols combinés) (figure III.5), ainsi que le trafic par tranche horaire dans le centre ATS de Nouakchott (figure III.6).

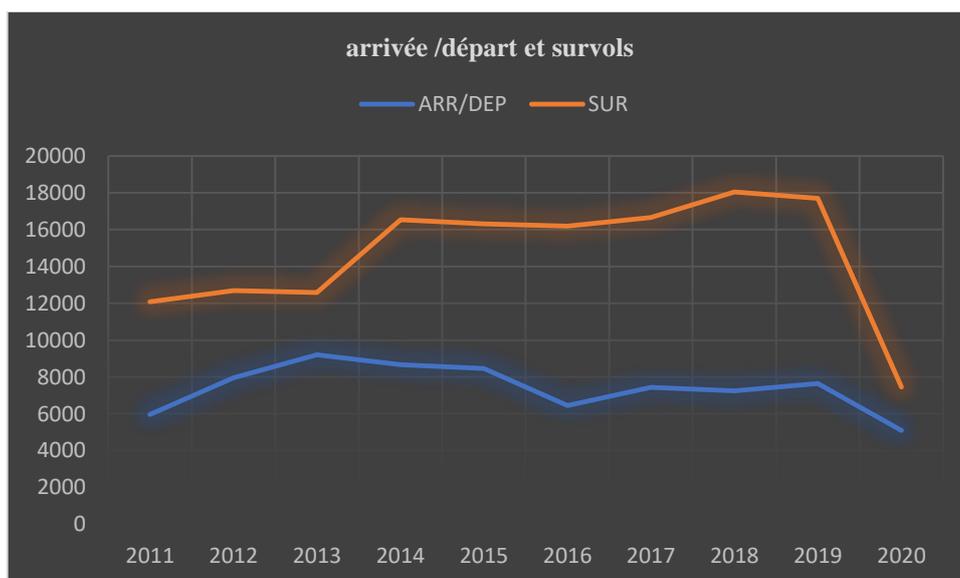


Figure III.4 : évolution du trafic ARR/DEP et survols.

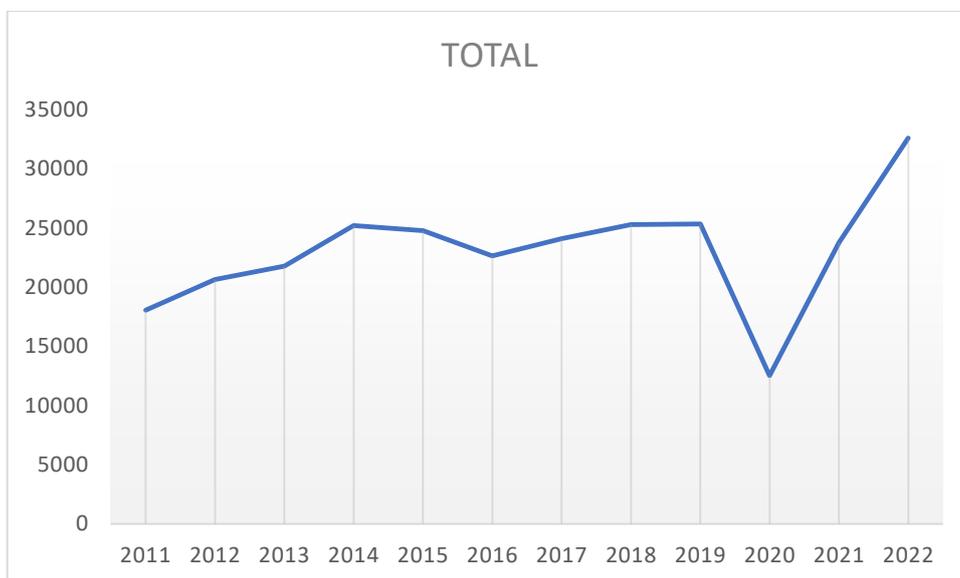


Figure III.5 : évolution du trafic total

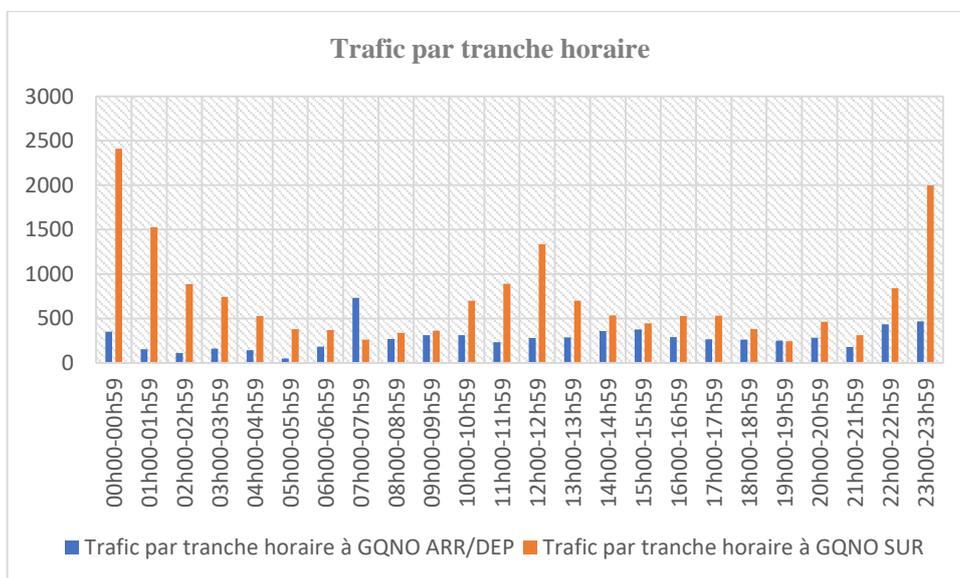


Figure III.6 : Trafic par tranche horaire (2019)

Dans la figure III.4, nous observons une évolution du trafic pour les arrivées, départs et survols. Cette évolution a été interrompue par les années de la pandémie de COVID-19 (2019

et 2020). À partir de 2021, la courbe a repris sa tendance normale, comme le montre la figure III.5 qui illustre l'évolution totale du trafic jusqu'en 2022.

La figure III.6 présente les statistiques du trafic par tranche horaire en 2019. Malgré l'impact notable de la pandémie de coronavirus, nous constatons des heures de pique, notamment entre 23h00 et 01h00 du matin, au niveau du CCR.

III.6 Prédiction du trafic

À partir des données statistiques de 2011 à 2022, nous avons établi des prévisions de trafic pour les onze (11) prochaines années, pour les survols et les DEP/ARR. Ces prévisions sont basées sur la tendance observée jusqu'en 2022.

La figure ci-après illustre l'évolution anticipée sur cette période.



Figure III.7 : Prédiction du trafic.

La situation actuelle des flux de trafic et les prévisions d'évolution à court terme à AINO n'exigent pas la mise en œuvre immédiate d'une mesure ATFM. Toutefois, cela n'exclut pas la possibilité d'appliquer l'ATFM pour anticiper des événements spécifiques tels que des sommets, des phénomènes météorologiques ou géologiques, et des événements sportifs comme la Coupe

d'Afrique... qui pourraient entraîner une augmentation du trafic aérien et risquer de dépasser la capacité ATC déclarée.

III.7 Capacité ATC du centre de Nouakchott

Dans un document publié par la DENA en 2018 (concernant la capacité ATC du centre de Nouakchott), la capacité de l'aéroport international de Nouakchott Oumtounsy (Tour et CCR) est calculée selon la méthode DORATASK, qui consiste à :

- Rechercher le temps moyen en minutes que met un aéronef dans l'espace sous la juridiction de l'organisme considéré.
- Convertir ce temps en secondes.
- Diviser ce temps par le volume de travail mesuré pour un secteur donné et pour un échantillon de trafic, en considérant la somme des temps de travail des tâches observables et non observables effectuées par le contrôleur.
- Prendre la valeur décimale obtenue, arrondie à la partie entière supérieure (+1) pour obtenir la valeur ajustée.

Pour un organisme, deux ou trois valeurs ajustées sont déterminées selon le sens de parcours du trafic, afin de prendre en compte la complexité du trafic. La moyenne de ces valeurs ajustées est retenue (partie entière +1). La valeur obtenue représente la capacité de cet organisme : cela signifie qu'il sera considéré comme chargé lorsqu'il gèrera simultanément ce nombre de trafics, et au-delà, il sera surchargé.

| Capacité CCR de Nouakchott | | | | | |
|----------------------------|---|---|------------------|------------------|------------------|
| Organisme | Temps de parcours dans le secteur en minute | Temps d'occupation pour traiter un vol en seconde | Capacité optimal | Capacité ajustée | Capacité moyenne |
| CCR | 68 | 213 | 19,154 | 20 | 17 |
| | 106 | 494 | 12,874 | 13 | |

La capacité du CCR de Nouakchott est évaluée à 17 mouvements par heure. [15]

Pour ce qui est de la **capacité de la tour**, une approche empirique est utilisée, basée sur l'observation du centre ATS. En effet, après de nombreuses observations, il convient de prendre en compte la capacité de la piste comme paramètre déterminant pour fixer la cadence d'approche. Ainsi, pour l'aéroport de Nouakchott Oumtounsy, où la cadence d'approche est de 8 minutes, la capacité pour une heure est déterminée à 8 arrivées par heure.

Étant donné que cette cadence permet d'intégrer un départ entre deux arrivées, il est possible de gérer 7 départs par heure, ce qui donne une capacité totale de 15 mouvements. De plus, durant cet intervalle, l'organisme peut également gérer, sur la même fréquence, des mouvements en attente ou des vols locaux, évalués à trois mouvements.

La capacité de la tour (TWR) est donc estimée à 18 mouvements par heure. [15]

III.8 Méthodologie proposée de détermination du CTOT

Pour proposer une méthodologie de détermination du CTOT, il est nécessaire de mettre en place une structure ATFM au préalable.

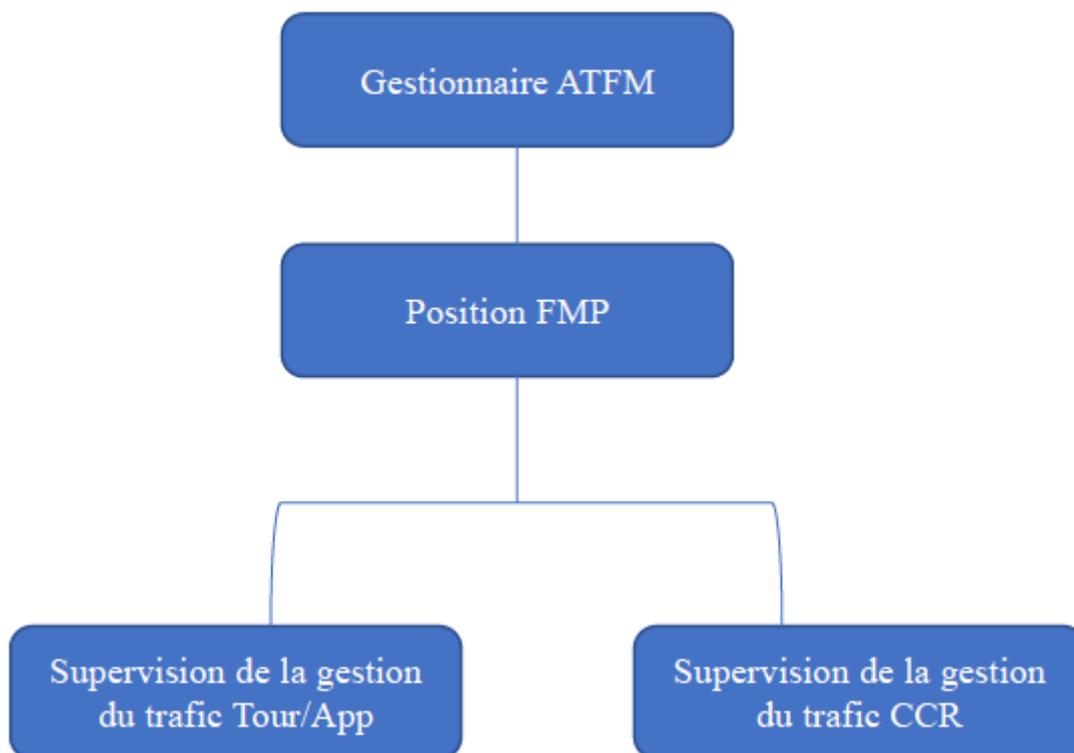
III.8.1 Structure ATFM

Cette structure sera chargée de :

- Prendre des décisions en collaboration avec les autres parties prenantes sur la plateforme.
- Coordonner avec les parties prenantes concernées en appliquant les processus CDM, et élaborer des stratégies pour gérer les flux de trafic. Cela inclut la résolution des déséquilibres prévus entre la capacité et la demande, selon les scénarios stratégiques établis, notamment les processus liés aux vols réguliers, aux conditions météorologiques significatives, aux niveaux anormaux de demande de trafic et, et plus généralement les contraintes de capacité importantes, qu'elles soient planifiées ou non. Cette coordination implique généralement des conférences téléphoniques et/ou web quotidiennes, selon les besoins.
- Assurer la liaison avec les organismes ATS de leur zone de responsabilité pour comprendre les conditions de capacité actuelles et prévues.

- Collecter toutes les informations pertinentes, telles que les conditions météorologiques, les contraintes de capacité, les pannes d'infrastructure, les fermetures de pistes, les pannes de systèmes automatisés et les changements de procédures affectant les organismes ATS.
- Établir et diffuser le plan quotidien d'ATFM (ADP) basé sur la coordination précédente.
- Gérer les analyses post-opérationnelles régulières (quotidiennes ou ponctuelles) et participer à des programmes d'amélioration continue.

Le dessin suivant, nous montre un exemple de ligne hiérarchique ATFM :



III.8.2 Exemple illustratif

Un avion partant de Nouakchott à destination d'Alger transitera par deux secteurs : le secteur tour/approche et le secteur CCR, dont la capacité est déjà connue. Si le FMP (Flow Management Position) constate un dépassement de capacité dans l'un des deux secteurs, il émettra alors un CTOT en se référant aux ETOs (Estimated Time Over) de chaque premier point des secteurs, qui est généré automatiquement par le système TOPSKY.

GQNO  DAAG

EOBT : 2315Z

STT : 10 Minutes (Le temps standard de roulage du parking au seuil de piste)

Ainsi, l'ETOT (Estimated Take-Off Time) est calculé comme suit :

$$\mathbf{ETOT=EOBT+STT=2315+10=2325Z}$$

Cet avion transite par la tour/approche et le CCR de Nouakchott avant d'être transféré au CCR d'Alger.

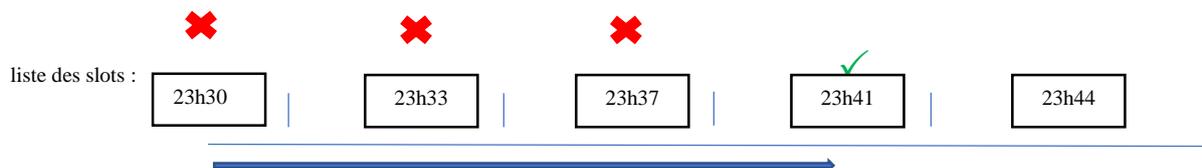
TWR/APP  CCR  CCR d'Alger

ETO : 2325 2335

Demande : 08 19

Capacité : 18 17

On remarque que la demande dépasse la capacité dans le secteur CCR. Par conséquent, le FMP va émettre un CTOT pour garantir un équilibre entre la demande et la capacité. En tenant compte de la capacité déclarée du CCR, qui est de 17 avions par heure, cela correspond à un slot toutes les 3.5 minutes (60 minutes divisé par 17). Lors de l'allocation des slots, le système cherchera le premier slot disponible dans le secteur saturé.



Ainsi, le CTOT est calculée comme suit :

$$\text{CTOT} = \text{ETOT} + \text{le temps de retard} = 2325 + 6 = 2331Z.$$

Le FMP devra envoyer le CTOT à l'avion deux heures avant son EOBT. L'avion pourra décoller au plus tôt 5 minutes avant le CTOT et au plus tard 10 minutes après le CTOT. Si ces conditions ne sont pas respectées, un nouveau CTOT sera émise.

| EOBT | STT | ETOT | ETO | CTO | Delay | CTOT |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 23h15 | 10 mn | 23h25 | 23h35 | 23h41 | 6 min | 23h31 |

III.8.3 Recommandations pour la gestion opérationnelle de Nouakchott

La capacité ATC du centre de Nouakchott a été évaluée en 2017, bien avant la mise en œuvre du guidage dans le centre. Il est recommandé de procéder à une nouvelle évaluation de la capacité pour prendre en compte la mise en place du guidage, qui devrait augmenter la capacité en raison de la réduction du temps des tâches observables.

Avec la mise en œuvre du service ATFM, les avantages suivants peuvent être attendus :

Pour les services ATS :

- Réduction de la charge de travail ;
- Régulation du trafic ;
- Amélioration de la sécurité.

Pour les usagers de l'air :

- Économies de carburant ;
- Amélioration de la ponctualité ;
- Vols sans attentes.

Conclusion générale

À la fin de notre projet, nous souhaitons rappeler les objectifs que nous nous étions fixés :

- ✓ Décrire le concept de l'ATFM (Air Traffic Flow Management), ses principes, ses différentes phases, les divers acteurs impliqués, ainsi que les outils de gestion du trafic aérien.
- ✓ Détailler les phases concernées par l'allocation des créneaux horaires (slots).
- ✓ Présenter les méthodologies mondiales de détermination du CTOT (Calculated Take-Off Time).
- ✓ Décrire la configuration de l'espace aérien utilisé comme cadre d'étude, les zones de mouvements et leurs caractéristiques, ainsi que les statistiques de flux de trafic aérien (arrivées, départs, survols).
- ✓ Justifier le choix de la méthodologie pour déterminer le CTOT.
- ✓ Présenter les différents scénarios possibles, montrer comment le CTOT pourrait être appliquée, et les résultats obtenus.
- ✓ Préciser les avantages attendus de l'application du CTOT.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons débuté par une description détaillée du service ATFM et des solutions qu'il propose, Nous avons également décrit le processus d'allocation des créneaux horaires et présenté l'aéroport de Nouakchott comme exemple.

Bien que le système de contrôle en Mauritanie parvienne actuellement à gérer la charge de trafic de manière relativement efficace (les contrôleurs aériens réussissant à administrer l'espace aérien sous leur responsabilité avec plus ou moins de difficulté), il est probable que, dans un avenir proche, la charge de trafic atteigne un niveau nécessitant des améliorations significatives dans la gestion des flux aériens. Ces améliorations pourraient passer par une restructuration de l'espace aérien, l'utilisation de nouveaux moyens et de nouvelles procédures, ou encore par une régulation du trafic aérien. Il est donc prudent de se préparer à l'avenir en mettant en place un service ATFM afin d'éviter la saturation des secteurs de contrôle. L'ATFM propose plusieurs mesures pour prévenir la congestion, notamment le calcul du CTOT.

Références

- [1] Document, 9971 OACI : Manuel sur la gestion collaborative des flux de trafic aérien (ATFM), Troisième édition, 2018
- [2] Amar Lekhal Yacoub et Mohamed Lemine Abdi Salem, « proposition d'une méthodologie de détermination de la CTOT (Calculated take-off time) à l'ASECNA : cas spécifique de l'aéroport de Nouakchott », EAMAC (2022 / 2023)
- [3] Mme. Kheroufi salima « la collaboration entre la gestion de flux de trafic aérien (ATFM) et la prise de décision collaborative (CDM) » », Mémoire de master, Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales. Université de Blida1 (Opérations Aériennes 2021).
- [4] Fatima Zahra Drareni, « Decongestion des secteurs de controle en route par le processus d'allocation des creneaux aux departs », Memoire de magister, Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales. Université de Blida1 2008.
- [5] Conférence mondiale de transport aérien (ATCONF) sixième réunion Montréal, 18 – 22 Mars 2013.
- [6] Document WASG : Worldwide Airport Slot Guidelines, troisième édition 1 Avril 2024.
- [7] Nathalie Lenoir. Congestion et créneaux aéroportuaires. CEDECE 2004, colloque de la Commission pour l'Étude des Communautés Européennes, Oct. 2004, Bordeaux, France.
- [8] Implementing air traffic flow management and collaborative decision making: Civil Air Navigation Services Organization (CANSO).
- [9] Eurocontrol, ATFCM Users Manual, édition 27, publié le 25 Avril 2023.
- [10] https://www.nm.eurocontrol.int/STATIC/NM_AREA/ (consulté le 24/06/2024)
- [11] Manuel En route Afrique Édition numérique En vigueur : 13 juin 2024.
- [12] AIP ASECNA.
- [13] MANEX CCR de Nouakchott.
- [14] Bureau statistiques ASECNA.
- [15] Capacité ATC du centre de Nouakchott.