



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Saad Dahleb Blida

Institut d'aéronautique et des études spatiales

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue d'obtention du diplôme master en aéronautique

Option : Opérations aériennes

Thème

**La Gestion automatisée des flux de trafic aérien à l'aérodrome
de Constantine DABC**

Encadré par :

M^r. KHELIFAOUI. Ahcen

Mme. DRARENI Fatima

Réalisé et présenté par :

HIDOUS Maroua

MOUALEK feriel

Résumé

Avec la saturation fréquente de certains aérodromes importants en Algérie, tels que DABC, DAUB, DAUZ, etc., les services de contrôle de la circulation aérienne ainsi que les compagnies aériennes sont confrontés à des situations délicates en raison de l'information tardive, voire instantanée de ces saturations, et l'absence d'un système ou d'un programme informatisé pour les détecter à temps. Actuellement en Algérie, la solution adoptée par les contrôleurs en cas de saturation repose sur le principe du « premier demandeur, premier servi », où l'autorisation de décollage est accordée uniquement si le poste de stationnement est libéré par un autre aéronef au départ. Cela n'est pas optimale pour la gestion du trafic aérien, notamment lorsque le premier demandeur est le dernier arrivé sur l'aérodrome concerné par la saturation, ce qui peut entraîner des retards pour l'ensemble du trafic prévu à destination de cet aérodrome.

Le travail requis comprend le développement d'un programme informatisé pour gérer les flux aériens dont le principe est « le premier arrivé dans la zone régulée (DABC), premier servi », ce software sera basé sur les données FPL (plan de vol déposé) et sur les prévisions du trafic aérien pour créer des scénarios et trouver des solutions bien avant, en utilisant des régulations au sol. Ce dernier s'inspirera du système CASA mis en place par EUROCONTROL et sera testé sur l'aérodrome de Constantine comme échantillon en vue de sa généralisation par la suite sur toute la FIR d'Alger.

Abstract

With the frequent saturation of some major aerodromes in Algeria, such as DABC, DAUB, DAUZ, etc., air traffic control services as well as airlines are facing delicate situations due to the late information, even instantaneously of these saturations, and the absence of a computer system or software to detect them in time. Currently in Algeria, the solution adopted by controllers in the event of saturation is based on the principle of “first applicant, first served”, where take-off clearance is granted only if the parking position is vacated by another aircraft on departure. This is not optimal for air traffic management, especially when the first applicant is the last one

to arrive at the aerodrome concerned by the saturation, which may cause delays for all the planned traffic to that aerodrome.

The work required includes the implementation of a software whose principle is « first come in the regulated area (DABC), first served », this software will be based on FPL data (flight plan filed) and future forecasting to create scenarios and find solutions long before, using ground regulations. The latter will be based on the CASA system set up by EUROCONTROL and will be tested on the Constantine airfield as a sample for later generalization on the entire FIR of Algiers.

ملخص

مع تكرار الازدحام في بعض المطارات الرئيسية في الجزائر مثل مطار قسنطينة، بسكرة، عين أميناس وغيرها من المطارات، تواجه خدمات مراقبة الحركة الجوية وشركات الطيران تحديات صعبة بسبب الوصول المتأخر او الانني للبيانات المتعلقة بالرحلات الجوية بالإضافة الى غياب نظام آلي للكشف عنها في الوقت المناسب حاليا في الجزائر يعتمد المراقبون الجويون في حالة الازدحام على مبدأ مقدم الطلب أولا يخدم أولا حيث لا يمنح ترخيص الإقلاع الا اذا تم اخلاء موقع الوقوف بواسطة طائرة مغادرة أخرى هذا النظام لا يعتبر الأمثل لإدارة الحركة الجوية خاصة عندما يكون مقدم الطلب الأول هو اخر من يصل الى المطار المعني مما يتسبب في تأخير حركة المرور المخطط لها في هذا المطار.

يتضمن العمل المطلوب تنفيذ برنامج يعتمد على مبدأ من يصل أولا الى المنطقة المنظمة يخدم أولا حيث يستند هذا البرنامج على بيانات خطة الطيران المقدمة وعلى التوقعات المستقبلية لإنشاء سيناريوهات وإيجاد الحلول في وقت مبكر وذلك باستخدام تنظيمات على الأرض سيتم استلهاهم هذا الأخير من النظام الأوروبي وسيتم اختباره في مطار قسنطينة كعينة بهدف تعميمه لاحقا على كل مطارات الجزائر

Remerciements

Le travail présenté à travers ce mémoire s'inscrit dans le cadre des projets de recherche menés au niveau de la direction de l'exploitation de la navigation aérienne sous la responsabilité du Monsieur Khelifaoui Ahcen contrôleur au niveau du centre de contrôle régional.

Nous tenons à adresser nos remerciements les plus sincères à notre encadreur, Monsieur KHELIFAOUÏ AHCEN, pour son soutien constant et positif tout au long de notre travail. Ses conseils avisés et ses orientations ont été d'une aide précieuse. Nous lui sommes également reconnaissants pour ses qualités humaines, la mise à notre disposition d'une riche documentation et une formation complémentaire au niveau du CCR.

Nos vifs remerciements s'adressent également à Madame DRARENI Fatima, Professeur à l'institut d'aéronautique et des études spatiales, pour l'honneur qu'elle nous a accordé en évaluant notre mémoire et en présidant notre soutenance.

À l'occasion de notre séjour au sein de l'établissement national de la navigation aérienne. Nous exprimons nos remerciements à l'ensemble des ingénieurs, chercheurs, responsables de Directions et départements au niveau direction de l'exploitation de la navigation aérienne pour leur accompagnement en formation.

Enfin, nous tenons à associer à tous ces remerciements, tous ceux qui nous ont aidés, de loin ou de près, à surmonter parfois des moments bien difficiles,

Je dédie mon succès à mon père, Hamid, un homme grandiose qui m'a enseigné que la vie est une lutte et que la science et la connaissance sont nos armes. Il m'a encouragé à réaliser mes ambitions et mes rêves, m'offrant un soutien inconditionnel à chaque étape de mon parcours. Aujourd'hui, je suis fière de lui offrir mon succès.

À ma mère, Linda Gormit, qui a enraciné en moi l'amour de la science et de la connaissance, m'a appris l'importance de l'amour et de la tendresse dans la vie, et a été mon refuge durant les nuits sombres où j'ai travaillé dur pour réussir. Maman, tu es mon premier soutien et mon exemple ; c'est à toi que je dédie mon succès.

À mon frère, Mohamed ta présence constante et ton soutien inconditionnel sont mes piliers quotidiens. Merci d'être mon complice, mon confident et mon ami le plus cher.

À ma chère Zola, merci d'être une personne exceptionnelle toujours présente pour moi, dans les moments de joie comme de peine.

À mes oncles, mes tantes, et particulièrement à ma tante Rabea, ainsi qu'à toutes mes cousines : Yasmine, Sarah, Nesrine, Malika, Lydia, Manel.

À mes amis : Asma, Nihad, Dalal, Mouad.

Je souhaite également honorer la mémoire de mon oncle, Mohamed Gormit et ma grand-mère Hedjadji Zahia, dont l'absence est cruellement ressentie en ces instants.

Une mention particulière à ma complice de labeur, Feriel, avec qui j'ai traversé cinq mois d'épreuves, de difficultés mais aussi de complicité et de rires. Sans sa présence, ce projet n'aurait pas émergé, son soutien et sa patience ont été des phares dans la tempête de ces derniers mois.

Maroua

Je dédie ma réussite à celui dont je porte le nom, celui qui était toujours fier de moi, et qui était toujours à mes côtés, mon soutien sans limites. Mon père, ABDELKADER que Dieu le protège.

À la femme qui a fait de moi une fille ambitieuse et qui a rendu les difficultés faciles. Qui m'a soutenue à chaque instant, et la bougie qui a illuminé mes nuits sombres. Ma mère KARIMA, que Dieu la protège.

A mes frères Sif Eddine, Hamza, Hichem, et Nassima

A mes belles sœurs Maroua Amel

A mes cousines Sarah Amel

A mes amies Nihad Dalal Maria

Et enfin, je ne pourrais oublier mon binôme, Maroua. Son soutien moral, sa patience et sa Compréhension tout au long de ce projet ont été d'une valeur inestimable.

Feriel

Table des matières

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR L'ATFM (AIR TRAFIC FLOW MANAGEMENT)	15
1.1 Introduction.....	16
1.2 Services de la navigation aérienne (ANS)	16
1.3 Gestion du trafic aérien (ATM)	16
1.3.1 Service de circulation aérienne (ATS).....	17
1.3.1.1 Service de contrôle d'aérodrome (TWR)	17
1.3.1.2 Service de contrôle d'approche	18
1.3.1.3 Service de contrôle en route.....	18
1.3.2 La gestion de l'espace aérien ASM.....	18
1.3.3 L'ATFM (Air Traffic Flow Management).....	19
1.4 Notion de capacité.....	19
1.5 Nécessité de l'implémentation de l'ATFM.....	20
1.6 Historique de la régulation aérienne en Europe	20
1.7 L'évolution de la régulation aérienne de l'ATFM à l'ATFCM.....	21
1.7.1 Objectifs de l'ATFCM	21
1.7.2 Solutions ATFCM	21
1.7.2.1 Optimiser l'utilisation de la capacité disponible.....	21
1.7.2.2 Utiliser d'autre capacités disponibles.....	22
1.7.2.3 Réguler la demande	23
1.7.3 Les phases de régulation L'ATFCM.....	24
1.7.4 Aéronefs exemptés des mesures ATFCM.....	25
1.8 Régulation des flux de trafic en Europe.....	25
1.9 Les acteurs de l'ATFCM.....	25
1.9.1 Central Flow Management Unit (CFMU).....	26
1.9.1.1 CASA (Computer Assisted Slot Allocation).....	27
1.10 (FMU) / Flow management position (FMP).....	28

1.11	Conclusion.....	29
2	CHAPITRE 2 LE SYSTEME AEROPORTUAIRE	30
2.1	Introduction.....	31
2.2	Structure d'un aérodrome et sa capacité.....	31
2.2.1	L'organisation générale d'une plate-forme aéroportuaire.....	31
2.2.1.1	Aérodrome.....	32
2.2.1.2	Aire de mouvement.....	32
2.2.2	La capacité aéroportuaire.....	36
2.2.2.1	La capacité des sous-systèmes.....	37
2.2.2.2	L'insuffisance des capacités aéroportuaire.....	38
2.2.3	Analyse de la fonction de gestion du trafic avion au sol.....	39
2.3	Etude de l'existant de l'aérodrome DABC	40
2.3.1	Présentation de l'aérodrome de Constantine MOHAMAD Boudiaf	40
2.3.2	Situation géographique de Constantine	41
2.3.3	Description de l'aérodrome de Constantine	41
2.3.4	Infrastructure liée à l'aéroport de Constantine.....	42
2.3.4.1	Les Pistes.....	42
2.3.4.2	Voies de circulation.....	44
2.3.4.3	Les aires de stationnement.....	44
2.3.4.4	Bretelles.....	45
2.3.4.5	Aides à la navigation.....	46
2.3.4.6	ATS Communication Facilities.....	46
2.3.4.7	Contrôle d'approche Constantine	46
2.3.4.8	Aéroports à proximité.....	47
2.3.4.9	Les obstacles de l'aérodrome de Constantine.....	47
2.3.4.10	Trafic sur L'aérodrome de Constantine DABC.....	50
2.4	Conclusion.....	51

3 CHAPITRE3 : LA MISE EN PLACE D'UNE PLATEFORME AUTOMATISEE VISANT A RESOUDRE LE PROBLEME DE SATURATION DU PARKING DE DABC

53

3.1	Introduction.....	54
3.2	Problématique	54
3.3	Principe actuel.....	55
3.4	Résolution de la problématique : application du principe premier arrivé premier servi.....	56
3.5	Réalisation de la plateforme	58
3.5.1	Etude de l'existant.....	58
3.5.2	La Base de données utilisée	60
3.6	Fonctionnement du programme ASA	61
3.7	Réalisation de la plateforme ASA.....	64
3.7.1	L'algorithme :.....	64
3.7.2	La base de données intégrée.....	66
3.8	Résultats de simulation :	67
3.9	Conclusion.....	70
3.10	Conclusion générale et perspectives.....	71

Liste des figures

Figure 1 la zone ifpz	27
Figure 2: présentation globale des flux aéroportuaires	32
Figure 3: aire de trafic.....	35
Figure 4:l'aire d'entretien	35
Figure 5: système aéroportuaire.....	37
Figure 6: aéroport de Constantine	40
Figure 7: localisation de l'aérodrome de Constantine	41
Figure 8: configuration des pistes de DABC	42
Figure 9 : orientation des pistes.....	43
Figure 10: aérodrome à proximité de DABC	47
Figure 11: hauteur des obstacles de la piste 14	48
Figure 12: hauteur des obstacles de la piste 32	48
Figure 13 : hauteur des obstacles de la piste 34	49
Figure 14: hauteur des obstacles de la piste 16	49
Figure 15: trafic sur DABC.....	50
Figure 16: schéma présentant le principe actuel de gestion de parking de DABC	55
Figure 17: simulation du principe " premier demandeur premier servi"	56
Figure 18: simulation du principe " premier arrivé premier servi"	57
Figure 19: état du parking de DABC en période de saturation	Erreur ! Signet non défini.
Figure 20: messages de saturation	59
Figure 21: message plan de vol.....	60
Figure 22: diagramme explicatif de la procédure de gestion du parking de DABC....	63
Figure 23: interface de la plateforme ASA.....	65
Figure 24: les départs de DABC en période de saturation	66
Figure 25: les arrivées de DABC en période de saturation.....	66
Figure 26: insertion de 5 postes et de la base de données	67
Figure 27: résultats de la simulation	68
Figure 29: analyse comparative des retards des vols.....	69

Listes des tableaux

Tableau 1: fiche technique de l'aérodrome de DABC	41
Tableau 2: caractéristiques techniques des pistes de DABC	43
Tableau 3: caractéristiques techniques des pistes et SWY de DABC	43
Tableau 4: caractéristiques des postes de stationnement	44
Tableau 5: caractéristiques des bretelles	45
Tableau 6: les aides à la navigation	46
Tableau 7: les services de contrôlé de DABC	46
Tableau 8: classification de l'espace aérien de DABC.....	46
Tableau 9:aéroports a proximité de DABC	47
Tableau 10: tableau des retards en fonction des vols	69

Introduction générale

Introduction Générale

Ces dernières années, le trafic aérien connaît une croissance exponentielle, et toutes les prévisions indiquent que cette tendance va se poursuivre à un rythme considérable au cours des deux prochaines décennies. Partout dans le monde, cette augmentation régulière de la demande du trafic a engendré des problèmes de congestion au niveau des aéroports et dans l'espace aérien. En Algérie, cette tendance mondiale se reflète également par une croissance rapide du trafic aérien. Cette hausse importante de la demande aéroportuaire et de l'utilisation de l'espace aérien pose des défis majeurs, notamment en termes de congestion dans les aéroports et dans les routes aériennes.

L'espace aérien est divisé en secteurs placés sous la responsabilité des services de contrôle aérien. Ces derniers disposent de moyens de détection et de visualisation de trafic aérien pour prévenir les collisions entre les appareils. Actuellement, la charge de travail des contrôleurs est le principal facteur limitant la capacité de l'espace aérien. En effet, si le nombre d'aéronefs dans un secteur de l'espace aérien devient trop important, les contrôleurs aériens ne sont plus en mesure de gérer les flux de trafic dans des conditions de sécurité optimales. Les secteurs dans cet état sont considérés comme encombrés. Comme la congestion résulte du dépassement de capacité par la demande, elle peut être atténuée ou éliminée par des actions visant soit à augmenter cette capacité, soit à modifier la demande. Ce mécanisme de régulation du trafic aérien est appelé ATFM (Air Traffic Flow Management).

L'ATFM est un système de gestion du trafic aérien qui a pour mission de permettre l'écoulement optimal de ce trafic dans les meilleures conditions de sécurité et de régularité. Dans cette optique, notre contribution à travers ce présent travail consiste à étudier le concept de l'ATFM et à traiter le problème de la saturation du parking (aérodromes) en Algérie, en prenant le cas de Constantine, afin de passer

Introduction générale

d'une stratégie pénalisante à une approche optimale inspirée des pratiques de l'Eurocontrol pour une meilleure gestion du parking de DABC.

Le rapport qui fait l'objet de notre présent mémoire est subdivisé en deux parties. La première est une synthèse bibliographique qui contient deux chapitres distincts. Le chapitre 1 porte sur les généralités relatives à la gestion de flux de trafic aérien. Le chapitre 2 se concentre sur le système aéroportuaire et sa capacité dans la première partie, ensuite les caractéristiques techniques et opérationnelles de l'aérodrome de Constantine DABC dans la deuxième partie.

La seconde section est consacrée à une étude expérimentale, celle-ci se décline en trois parties. La première partie présente une analyse de la Méthode actuelle de gestion du parking de DABC, la deuxième partie décrit le développement de l'algorithme, tandis que la troisième et dernière partie est consacrée à l'automatisation de gestion des flux de trafic sur DABC

Les résultats de cette étude seront mis en relief dans une conclusion générale.

Partie bibliographique

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR L'ATFM (AIR TRAFIC FLOW MANAGEMENT)

1.1 Introduction

Comme pour les autres systèmes de transport, le transport aérien est caractérisé par un réseau de routes et par un système d'exploitation pour assurer un mouvement sûr et efficace des aéronefs. Le contrôle du trafic aérien s'appuie sur des services de navigation aérienne standardisée au plan mondial par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale. Ces services garantissent la sécurité, l'efficacité et la gestion du trafic aérien.

Toutefois, lorsque la demande dépasse la capacité disponible du système ATC, il devient impératif de mettre en place une gestion du trafic aérien sûre, ordonnée, rapide et maintenue. Cette gestion permet de répondre aux défis posés par la croissance continue du trafic aérien, en veillant à ce que les opérations aériennes restent fluides et sécurisées. En cas de saturation imminente du système ATC, une telle gestion efficace garantit la continuité des opérations aériennes sans compromettre la sécurité ni la ponctualité des vols.

1.2 Services de la navigation aérienne (ANS)

Ensemble de services fournis par un ou plusieurs organismes étatiques ou privés au profil des usagers (AO's), dans le but d'assurer une gestion sûre et efficace du trafic aérien. Ces services sont : l'ATM, CNS, AIS, METEO et le SAR.

1.3 Gestion du trafic aérien (ATM)

La gestion du trafic aérien (ou ATM, de l'anglais air traffic management) est l'ensemble des activités menées pour assurer la sécurité et la fluidité du trafic aérien en tenant compte de l'aspect économique, afin de gérer les problèmes de congestion du trafic aérien.

La gestion du trafic aérien inclut les services de la circulation aérienne (ATS), comprenant les services du contrôle aérien, la gestion de l'espace aérien (ASM) et la gestion des flux de trafic aérien et des capacités (ATFCM)

1.3.1 Service de circulation aérienne (ATS)

L'objectif principal des services de la circulation aérienne est d'assurer une circulation sûre et ordonnée, facilitée par le service de contrôle de la circulation aérienne (ATC). Ce service fournit les renseignements nécessaires aux équipages de conduite via un service d'information de vol (FIS). En cas de perte de contact avec un avion en vol, il alerte également les organismes de recherche et de sauvetage (SAR), assurant ainsi le service d'alerte. Les services du contrôle de la circulation aérienne visent à garantir la sécurité, la régularité et la fluidité des vols pour éviter les collisions et les abordages, en appliquant des séparations en temps et en distance conformément aux normes et pratiques recommandées par l'OACI, telles que décrites dans le DOC 4444 (gestion du trafic aérien). L'ATC repose sur les interventions tactiques des contrôleurs et sur la communication directe avec les équipages de conduite pendant les différentes phases de vol il est subdivisé en trois services :

- Le contrôle d'aérodrome assuré par TWR.
- Le contrôle d'approche assuré par le service d'approche ou le centre de contrôle régional.
- Le contrôle en route assuré par le CCR.

1.3.1.1 Service de contrôle d'aérodrome (TWR)

Les contrôleurs de la circulation aérienne au niveau de la tour assurent la séparation du trafic évoluant sur l'aire de trafic et l'aire de mouvement ainsi que dans le circuit de l'aérodrome. L'espace aérien géré par la tour est délimité par le CTA (zone de contrôle terminale).

Ce service fournit des informations essentielles telles que la visibilité, la direction du vent, les conditions nuageuses, la présence d'obstacles sur les pistes et tout événement important se déroulant dans l'environnement aéroportuaire.

Note : notre FIR comprend 36 tours de contrôle réparties sur 11 aérodromes internationaux et 25 aérodromes nationaux.

1.3.1.2 Service de contrôle d'approche

Le centre de contrôle d'approche gère les aéronefs dans sa zone de responsabilité appelée CTA, pendant leur phase de descente ou de montée intermédiaire. Le système de gestion de trafic (ATM) est identique à celui des secteurs de contrôle régional (CCR), alors que la densité de trafic est relativement plus importante comparée à celle du CCR. Des régulations de vitesse sont souvent imposées et peuvent être associées à des réductions des minimums de séparation, Des procédures d'attente spécifiques sont utilisées pour réguler le flux d'arrivée et préparer correctement le séquençement des atterrissages, bien avant la phase finale de la descente.

Note : le service de contrôle d'approche est assuré soit par un centre de contrôle d'approche implémenté au niveau des aérodromes, ou bien par le centre de contrôle régional pour les aérodromes non équipés.

En FIR Alger, il existe 5 approches qui sont DAAG, DAOO, DABC, DABB, DAUH.

1.3.1.3 Service de contrôle en route

Le contrôle en route prend en charge tout le trafic (national et international) qui pénètre dans sa zone de responsabilité. Il concerne généralement les aéronefs en phase de croisière, ce service est assuré par le centre de contrôle régional (CCR).

L'Algérie dispose de deux centres de contrôle régional, l'un est opérationnel à Cherarba Oued Semmar, Le second, situé à Tamanrasset, est actuellement en phase expérimentale et devrait être opérationnel dans les prochaines années.

1.3.2 La gestion de l'espace aérien ASM

Une fonction de planification dont l'objectif principal est de maximiser l'utilisation de l'espace aérien disponible par un partage dynamique en temps et, parfois, par la répartition de l'espace aérien entre diverses catégories d'utilisateurs de l'espace aérien, notamment l'autorité civile (ENNA) et militaire sur la base des besoins à court terme.

1.3.3 L'ATFM (Air Traffic Flow Management)

La gestion des flux de trafic aérien est un système composé d'outils et de procédures qui veille à ce que la demande du trafic aérien (nombre de FPL), ne dépasse pas la capacité disponible. Les avantages opérationnels de l'ATFM comprennent :

- L'Augmentation de la sécurité du système ATS.
- La minimisation des retards et des embouteillages.
- L'augmentation du débit.
- La réduction des coûts grâce aux économies de carburant.
- La fourniture d'une prévisibilité de la planification.
- Le Soutien de la mise en œuvre de nouvelles technologies et procédures qui améliorent la capacité de l'espace aérien.

1.4 Notion de capacité

La notion de capacité permet de quantifier les limites de tout système offrant aux usagers un service partagé, elle est définie par une offre qui répond à la demande (ou charge) elle ne doit en aucun cas être dépassée pour que le service effectif rendu par le système corresponde à l'attente des usagers. Pour le système de contrôle aérien, la capacité s'exprime en débit maximal d'aéronefs pénétrant dans une portion déterminée de l'espace aérien qui peuvent être pris en charge dans les meilleures conditions de sécurité au cours d'une période de temps donnée. La capacité d'un système ATC dépend de nombreux facteurs, notamment de la structure des routes ATS, de la précision des moyens de navigation, de communication et de surveillance, d'éléments liés aux conditions météorologiques, de la charge de travail des contrôleurs et la nature de trafic. Il faut tout mettre en œuvre afin d'assurer une capacité suffisante pour le trafic normal et le trafic de pointe. Cela dit, que Le nombre d'aéronefs auxquels un service ATC est assuré ne dépassera pas celui qui peut être acheminé en toute sécurité dans les circonstances existantes par l'organisme ATC intéressé.

1.5 Nécessité de l'implémentation de l'ATFM

La croissance constante du trafic aérien au fil des années, qui ne s'accompagne pas d'une croissance similaire de la capacité du système de contrôle du trafic aérien (ATC), a commencé à mettre à rude épreuve le système de transport aérien. La congestion affecte gravement le trafic aérien aux États-Unis et en Europe, ce qui a incité les deux continents à adopter différentes méthodes de régulation. Dans le cadre de notre étude sur la régulation de trafic aérien nous avons choisi de nous concentrer sur le modèle européen plutôt que sur celui des Etats-Unis. Cette décision est motivée par le fait que notre mémoire s'inspire largement des pratiques et des analyses de l'EUROCONTROL ainsi que la position géographique de notre pays constituant une FIR adjacente à la zone EUROCONTROL (IFPZ).

1.6 Historique de la régulation aérienne en Europe

Face à la densité du trafic aérien et la saturation du système de contrôle (ATC), six Etats européens (l'Allemagne, la Belgique, la France, le Luxembourg, les Pays-Bas et le Royaume-Uni) signèrent en 1960 une convention internationale pour créer l'Organisation Européenne pour la Sécurité de la Navigation Aérienne: l'EUROCONTROL. Ces tentatives n'ont pas été coordonnées à un niveau supranational du fait de la séparation de la responsabilité de la gestion du trafic entre les différents pays. Bien que pouvant être efficaces au niveau local, ces premières mises en œuvre aggravèrent les conséquences des problèmes croissants de congestion au niveau européen, du fait d'un manque de communication et de coordination entre les différentes unités d'ATFM. Les bases d'un système européen global d'ATFM ont été posées lors du meeting ICAO (International Civil Aviation Organisation) consacré à l'espace aérien européen en 1980. La CFMU (Central Flow Management Unit) devait voir réellement le jour en juillet 1989, sous la responsabilité naturelle d'Eurocontrol, l'organisation créée en 1963 afin de centraliser progressivement la gestion du trafic aérien en Europe assurée jusqu'ici par les différentes administrations nationales. Pour mémoire l'équivalent américain de la CFMU s'appelle Air Traffic Control System Command Center (ATCCC).

1.7 L'évolution de la régulation aérienne de l'ATFM à l'ATFCM

Depuis la publication du document Stratégie de gestion de flux et de la capacité du trafic aérien « Air Traffic Flow and Capacity Management Strategy » en avril 2004 on assiste à un glissement terminologique de l'ATFM vers ATFCM pour désigner les activités de régulation assurées par la CFMU.

Ainsi, Le C de « Capacity » met en avant le fait que la régulation ne portera plus uniquement sur la demande (trafic) mais aussi sur l'offre (capacité de réception), traduisant ainsi un rééquilibrage des objectifs de la CFMU en faveur des usagers des services de contrôle aérien.

1.7.1 Objectifs de l'ATFCM

L'ATFCM est un service qui améliore l'ATFM dans le but d'établir un équilibre entre la demande et la capacité en optimisant l'utilisation des ressources disponibles tout en tenant compte des besoins spécifiques des opérateurs, afin d'améliorer la qualité de service et les performances du système ATM. Il convient de souligner que le succès de l'ATFCM et du contrôle des flux dépend de la qualité de la communication et de la coopération entre toutes les parties impliquées.

1.7.2 Solutions ATFCM

1.7.2.1 Optimiser l'utilisation de la capacité disponible

Afin d'être plus flexible dans l'utilisation de l'espace aérien, d'augmenter sa capacité et d'améliorer l'efficacité de l'exploitation aériennes, les limites horizontales et verticales de l'espace aérien devraient être développées, examinées et redéfinies par les organismes concernés. Pour cela des mesures ont été adoptées tel que :

- **Sectorisation** S'il s'avère que la demande va dépasser la capacité dans un secteur particulier de l'espace aérien, des mesures actives telles que la division du secteur en deux ou plusieurs secteurs ou la modification de la configuration du secteur pour répartir la demande peuvent être justifiées.
- **Coordination civil/militaire** L'utilisation flexible de l'espace aérien est l'un des moyens les plus efficaces d'augmenter la capacité. Si la demande dépasse la

capacité, une coordination est établie avec les autorités qui « possèdent » l'espace aérien restreint et/ou interdit. Il s'agit généralement d'utiliser l'espace aérien militaire. En négociant l'utilisation de cet espace pendant les pics de demande.

- **Revoir la capacité déclarée (check flight List)** En cas d'événements particuliers qui ont une incidence négative/positive sur la capacité déclarée d'un espace aérien ou d'un aéroport, la capacité de l'espace aérien ou de l'aéroport concerné sera réduite/augmentée en conséquence pendant la période nécessaire. Lorsque c'est possible, la capacité en relation avec de tels événements devrait être préalablement déterminée.

1.7.2.2 Utiliser d'autres capacités disponibles

L'utilisation d'autres capacités disponibles implique un certain nombre de mesures appliquées de manière sélective mais sans être discriminatoires, en affectant uniquement la partie du trafic qui pose problème et elles ne devraient être appliquées que pour la période pendant laquelle la demande prévue de trafic aérien dépassera la capacité disponible, ces mesures sont définies comme suit :

- **Déroutement (Rerouting (flux/vol))** est une mesure ATFM tactique. Il s'agit d'une route attribuée par l'ATC autre que celle indiquée dans le plan de vol déposé, les aéronefs sont émis à Rester à l'écart de l'espace aérien à usage spécial, l'espace aérien encombré (secteur surchargées) et les zones connues pour leurs conditions climatiques difficiles.

Note Les aéronefs qui sont affectés par un Rerouting, doivent poser / déposer à nouveau leur FPL pour les exigences rerouting.

- **Itinéraire alternatif (Alternative route)** propose pour des couples aéroport départ /aéroport destination des nouvelles routes mais avec une contrainte quantitative pas plus de « N » vols par heure ou accepter des niveaux de vols interdits dans le RAD (route available document).
- **Plafonnement des niveaux (Level capping)** Consiste à changer le niveau de vol ou l'aéronef sera autorisé à une altitude inférieure ou supérieure à l'altitude demandée jusqu'à ce qu'ils soient clairement dans un espace aérien donné. Le Plafonnement peut être demandé à la phase initiale du vol ou de la totalité du

vol, autrement dit réacheminements des flux effectués par moyens de restrictions de niveau.

1.7.2.3 Réguler la demande

- **Taux d'acceptation** Lorsqu'un organe du contrôle de la circulation aérienne s'aperçoit qu'il lui est impossible d'acheminer d'autres aéronefs dans un délai donné en un point donné ou dans une région particulière, en plus de ceux déjà acceptés, ou qu'il ne pourra les accepter qu'à une certaine cadence, il informera les autres organes du contrôle de la circulation aérienne, ainsi que les exploitants intéressés et les pilotes commandants de bord des aéronefs se dirigeant vers ce point ou vers cette région. Que les aéronefs supplémentaires subissent probablement un retard important ou, s'il y a lieu, que des restrictions spécifiées devront être imposées à tous les aéronefs supplémentaires pendant une période de temps spécifiée.
- **Retarder les aéronefs en vol** ou le contrôleur établi la séquence et l'espacement des aéronefs dans une région donnée en pareil cas le calcul des retards qui sont le résultat de l'opération de séquence et d'espacement peut être transformé en un vol à vitesse réduite alors qu'ils sont encore en route vers cette région

voler à vitesse réduite permet aux aéronefs concernés d'absorber au moins une partie de retards alors qu'ils sont encore en route, voler à un régime réduit peut aussi être attrayant pour les exploitants à cause de l'économie de carburant qui en résulte il faut toutefois observer qu'une vitesse réduite en route risque fort d'augmenter l'encombrement sur le traçant de route et de conduire à une complexité accrue dans le secteur à cause de l'incompatibilité des vitesses à un même niveau de vol pour cela une autre forme améliorée avec un système automatisée est possible c'est le processus d'allocation des créneaux.

- **Retarder les aéronefs au sol : allocation de créneaux** Pour éviter que trop d'aéronefs se présentent en même temps dans un secteur donné nous choisissons de réguler la demande en modifiant l'heure de décollage de certains vols pour absorber le retard au départ en imposant aux aéronefs de décoller à une heure donnée (créneaux) qu'il doit obligatoirement respecter.

Un créneau horaire est défini comme la période considérée d'un jour et d'une heure pendant laquelle un aéronef doit arriver à un aéroport ou en partir.

1.7.3 Les phases de régulation L'ATFCM

Le processus de mise en œuvre ATFCM devrait être établi, planifié et développé par étapes selon les trois phases suivantes :

- **Planification stratégique** cette planification se fait normalement de douze à six mois avant la date à laquelle elle entrera en vigueur, Grâce à une prise de décision collaborative entre l'ATC et les exploitants d'aéronefs afin d'analyser les restrictions de l'espace aérien, l'aéroport, l'ATC, les changements climatiques saisonniers. Elle devrait consister à examiner la demande pour la prochaine saison, à évaluer où et quand la demande sera susceptible de dépasser la capacité ATC disponible et à travailler à résoudre le déséquilibre en prenant des dispositions avec l'autorité ATC pour offrir une capacité suffisante à l'endroit et au moment voulus.

Le principal résultat de cette phase est la création d'une liste d'hypothèses, dont certaines sont diffusées dans des publications d'information aéronautique qui grâce à des prévisions de capacité, permettent aux planificateurs à anticiper les problèmes et de trouver des solutions pour y répondre tout en améliorant le soutien à l'ATFM.

- **Planification pré-tactique** : (Anticipation) Au cours de cette phase, des mesures sont adoptées et appliquées de plus d'une journée avant la date à laquelle elle entrera en vigueur, elle Devrait affiner le plan stratégique à la lumière des données actualisées sur la demande. Au cours de cette phase, les mesures globales de gestion des flux sont décidées et rendues publiques sous forme d'un ATFM Daily Plan (ADP) communiqué aux compagnies aériennes et aux contrôleurs aériens.

L'objectif principal de l'activité pré-tactique est d'optimiser la capacité grâce à une organisation plus efficace des ressources, basée sur la demande de trafic prévue.

- **Opération tactique (j)** Les opérations ATFM tactiques devraient consister à exécuter les mesures tactiques convenues le jour de l'opération, afin de réduire et de régulariser le courant de trafic là où la demande dépasse la capacité,

surveiller l'évolution de l'état de la circulation aérienne pour s'assurer que les mesures ATFM appliquées aient l'effet désiré et prendre des mesures correctives si de longs retards sont signalés.

1.7.4 Aéronefs exemptés des mesures ATFCM

Dans le contexte de L'ATFCM il convient d'exempter des mesures de régulation des types de vol ci-après :

- Les vols en situation d'urgence, y compris les vols qui sont l'objet d'une intervention illicite.
- Les vols effectués à des fins humanitaires.
- Les vols effectués à des fins médicales.
- Les vols effectués pour des missions de de recherche et de secours SAR.
- Les vols avec statut de chef d'état
- Vol en opération de lutte anti-incendie.

Dans le présent paragraphe les vols cités ci-dessus sont exemptés des mesures de régulation liées uniquement à la capacité, ce qui n'est pas le cas pour des mesures liées à la sécurité aéronautique tel que mauvaise visibilité, fermeture d'aérodrome...etc.

1.8 Régulation des flux de trafic en Europe

La régulation des flux du trafic aérien en Europe repose sur une organisation centrale: Eurocontrol ou organisation européenne pour la sécurité de la navigation aérienne est une organisation intergouvernementale européenne, fondée en 1960, dont le siège est situé à Bruxelles , Sa mission est d'harmoniser et d'unifier la gestion de la navigation aérienne en Europe, Une des principales missions d'EUROCONTROL est d'exploiter l'organisme central de gestion des courants de trafic aérien (CFMU, Central Flow Management Unit) de manière à utiliser au mieux l'espace aérien européen et à prévenir les encombrements de trafic.

1.9 Les acteurs de l'ATFCM

Les unités de l'ATFM sont des organismes dynamiques qui évoluent en fonction des besoins des utilisateurs, pour le maintien d'un équilibre entre exigences de l'ATC,

d'une part, et les exigences des compagnies aériennes de l'autre. Ces unités, sur leur propre, ne peuvent pas augmenter la capacité, mais ils peuvent faire en sorte que la capacité existante est maximisée. Les acteurs participant dans l'ATFCM sont :

- **NMOC** : Network manager operations center. (**CFMU**).
- **FMP** : Flow management position.
- **ATC** : Air traffic controller, Les organismes de contrôle disposent chacun d'une Flow Management Position « FMP » qui effectue le lien entre la CFMU, l'ATC et les AO « Aircraft Operators ».
- **AO** : Aircraft operator Les usagers (l'aviation générale, les transporteurs aériens, les forces militaires) essentiellement les compagnies aériennes,
- **MIL** : Military unit.

1.9.1 Central Flow Management Unit (CFMU)

La **CFMU** « **Central Flow Management Unit** » ou « Unité centrale de gestion des flux de trafic » est l'organisme de gestion et d'optimisation des flux de trafic aérien ATFCM. Elle a pour mission de planifier de façon centralisée les volumes de trafic dans sa zone de responsabilité **IFPZ (Figure3)**, dans le but d'optimiser la sécurité et la capacité de l'espace aérien. La CFMU est ainsi chargée de veiller à ce que les secteurs de contrôle aérien soient exploités de façon optimale tout en cherchant à minimiser les délais. La CFMU a été progressivement renommée en Network Manager Operations Center (**NMOC**) depuis 2011. Elle est composée essentiellement de deux systèmes : l'**IFPS** et l'**ETFMS**.

La CFMU centralise en une seule banque de données :

- Les plans de vols y compris sous forme de plans de vols répétitifs, déposés une fois pour toutes au début de chaque saison dans le système IFPS.
- Les données d'environnement (cartographie des routes, des points de passage et Découpage en secteurs, ce découpage peut varier plusieurs fois par jour.

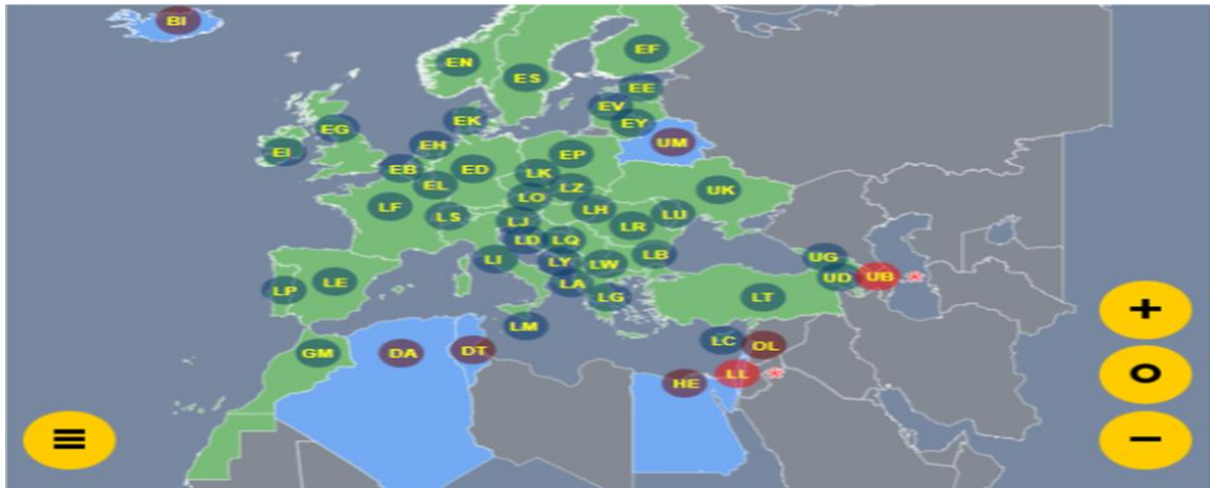


FIGURE 1 LA ZONE IFPZ

La zone IFPZ regroupe les positions FMP « flow management position » (annexes décentralisées de la CFMU servant de relais entre CFMU central et les usagers). La FIR d'Alger est une zone adjacente à la zone IFPZ, d'où l'état Algérien est considéré coopérant, le NM lui fournit un nombre limité de service, ce qui fait que tout vol au départ, ou pénétrant dans cette zone peut être soumis à des régulations ATFM.

1.9.1.1 CASA (Computer Assisted Slot Allocation)

Pour gérer le trafic, la CFMU propose un outil d'aide à la régulation : Computer Assisted Slot Allocation (CASA). Cet outil a en charge l'attribution des créneaux de décollage, ce mécanisme intervient pendant les périodes de fort trafic.

Pour chaque zone régulée, CASA génère une liste de créneaux de passage, dont la taille dépend de la capacité de la zone considérée. Cette liste va se remplir au fur et à mesure de l'arrivée des plans de vol pour des passages en secteurs congestionnés. Dans cette situation, le dépôt des plans de vol est avancé à au moins trois heures avant l'EOBT. L'algorithme fonctionne selon le principe de « premier prévu, premier servi », sous-entendu que le premier prévu n'est pas le premier à avoir déposé son plan, mais le premier à se rapprocher de l'heure du créneau. Le mécanisme retenu pour l'allocation est tel que si un aéronef demande un créneau déjà alloué à un autre vol, il prend le créneau de celui qui souhaitait passer juste après lui. Celui qui obtient le créneau est celui qui aurait dû passer le premier en l'absence de régulation ; le second obtient le créneau suivant, décalant d'une case la liste. Si cette case est occupée, le processus se répète. Étant donné que chaque nouveau plan de

vol peut bouleverser la liste. De même si un vol a annulé la case qu'il occupe dans chaque liste est libérée et les autres vols peuvent voir leur situation s'améliorer. Deux heures avant l'EOBT, les créneaux sont communiqués aux compagnies et aux services du contrôle. A ce stade, le créneau ne peut plus être pris par un autre vol. Cependant, la compagnie doit, si elle est dans l'incapacité de prendre ce créneau, demander un changement.

L'allocation des créneaux est recalculée en permanence pour essayer d'améliorer la situation. Si un vol traverse plusieurs zones régulées, il reçoit le retard le plus important et sera accepté avec ce retard dans toutes les autres zones. Cette gestion séparée des secteurs en sous-capacité pose le problème des régulations multiples. Il serait peut-être préférable de chercher des solutions globales, à partir de systèmes d'équations simultanées, afin de tenir compte des interconnexions entre les secteurs tandis que ce mécanisme a un effet très positif sur la gestion au sol.

1.10 (FMU) / Flow management position (FMP)

Le poste de gestion des flux (FMP) est important dans les centres de contrôle du trafic aérien pour assurer une liaison principale entre les partenaires locaux tels que le contrôle du trafic aérien (ATC), les opérateurs aériens (AO), les aéroports et le centre d'opérations du gestionnaire de réseau (NMOC). Les FMP fournissent des informations locales essentielles pour maintenir un équilibre entre les besoins de l'ATC et ceux des compagnies aériennes. En collaboration avec le NMOC, leur rôle est d'optimiser le service ATFCM en fournissant des connaissances locales comme les configurations de secteurs, les volumes de trafic, les horaires et configurations de piste, ainsi que des événements impactant les capacités des aéroports ou d'un ACC (Contrôleurs de centre de contrôle régional) Le NMOC communique également toute information pertinente affectant le service fourni.

1.11 Conclusion

L'ATFM a pour objectif de maintenir un équilibre entre la demande de trafic et l'offre, qui est la capacité disponible. Mais, avec l'évolution vers l'ATFCM, la régulation ne se limite plus à la gestion de la demande de trafic, elle s'étend également à la capacité de contrôle. Cela veut dire qu'avec l'ATFCM, la capacité augmente en réponse à la demande et diminue lorsque celle-ci diminue, permettant ainsi une meilleure adaptation aux variations du trafic aérien. Cette évolution contribue positivement à la sécurité en évitant les surcharges, mais peut avoir un effet très négatif sur l'utilisation des pistes en ralentissant généralement les écoulements pénétrants le système.

2 CHAPITRE 2 LE SYSTEME AEROPORTUAIRE

2.1 Introduction

La connaissance des infrastructures aéroportuaires et des procédures qui lui sont rattachées permet de mieux comprendre les modalités d'écoulement du trafic au sol, ce chapitre est divisé en deux parties distinctes, l'objectif de la première partie n'est pas de fournir une description détaillée de tous les équipements pouvant être utilisés sur un aéroport, mais de donner un aperçu général sur le système aéroportuaire et la gestion des flux de trafic au sol. La deuxième partie quant à elle consiste en une description technique et opérationnelle de l'aéroport de Constantine.

2.2 Structure d'un aéroport et sa capacité

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

2.2.1 L'organisation générale d'une plate-forme aéroportuaire

Les mouvements au sol sont classés en trois grandes catégories : arrivées, départs et transferts d'un poste de stationnement à un autre. Si sur le moyen terme (la journée) les deux premiers types de mouvements ont tendance s'équilibrer en volume, le troisième type reste marginal sur beaucoup d'aéroports. Au niveau organisationnel et opérationnel on peut identifier des zones de circulation distinctes : les zones des pistes (Runway), la zone des voies de circulation (taxiways), les zones des rampes associées à des zones de postes de stationnement. Chacune de ces zones comporte des règles spécifiques de fonctionnement et peuvent être sous la responsabilité directe des différents contrôleurs. Remarquons que sur un grand aéroport plusieurs zones de pistes et de postes de stationnement peuvent coexister avec en général des voies de circulation qui permettent d'assurer la connexion et l'accessibilité de celles-ci. [

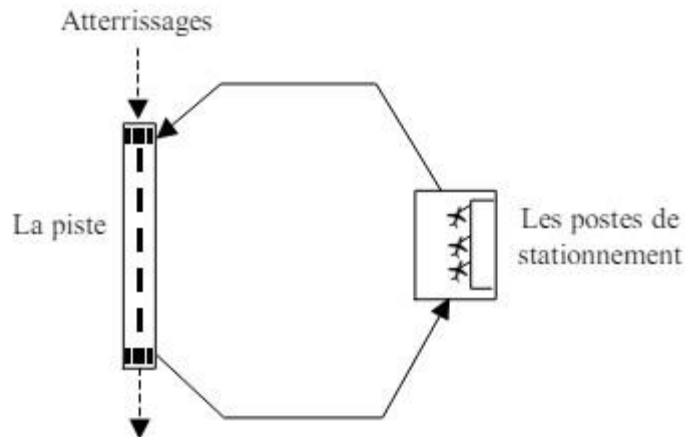


FIGURE 2: PRESENTATION GLOBALE DES FLUX AEROPORTUAIRES

2.2.1.1 Aérodrome

L'aérodrome est défini par le Code de l'Aviation civile comme étant tout terrain ou plan d'eau spécialement aménagé pour l'atterrissage, le décollage et les manœuvres des aéronefs y compris les installations annexes qu'il peut comporter pour les besoins du trafic et le service des aéronefs.

2.2.1.2 Aire de mouvement

L'aérodrome comprend une ou plusieurs pistes, des aires de stationnement, ainsi qu'un réseau de voies de circulation, appelée « taxiway » reliant les postes de stationnements à la piste. Cet ensemble forme ce que l'on appelle « aire de mouvement », définie comme une partie de l'aérodrome dédiée au décollage, à l'atterrissage, au roulage et la circulation des aéronefs, incluant la zone de manœuvre et les aires de trafic.

La piste et les taxiways sont regroupés sous l'appellation « aire de manœuvre »

➤ Aire de manœuvre

Une Partie de l'aérodrome réservée aux décollages, aux atterrissages et la circulation des aéronefs à la surface excluant des aires de trafic, comprend les pistes et les voies de circulation (taxiways).

- **La Piste**

Une piste est une zone rectangulaire sur la surface de l'aérodrome, aménagée spécifiquement pour le décollage et l'atterrissage des aéronefs. Un aérodrome peut en avoir une, ou plusieurs, chacune étant positionnée, orientée et configurée de manière à garantir une utilisation sûre et efficace de l'aérodrome dans diverses conditions. L'emplacement, l'orientation et le nombre de pistes d'un aérodrome est influencé par plusieurs facteurs météorologiques locaux notamment la direction et la force du vent, la topographie de l'aérodrome et des environs, le type et le volume de trafic aérien à desservir, les exigences de performance des aéronefs et les considérations liées au bruit des aéronefs. Un aérodrome peut posséder plusieurs pistes et adopter différentes dispositions de celles-ci; selon la nécessité et les circonstances, appelées le système piste. Les divers systèmes comprennent : système de piste unique, système de pistes parallèles, système de pistes convergentes, système de pistes sécantes.

- **Les voies de circulation d'avions**

Les voies de circulations sur un aérodrome terrestre sont spécifiquement aménagées pour faciliter la circulation des aéronefs à la surface, elles assurent la liaison entre différentes parties de l'aérodrome. (Figure 3)



FIGURE 3 : LES VOIES DE CIRCULATION

➤ L'aire de trafic

Les zones de stationnements sur un aéroport sont regroupées sous le terme « aire de trafic », cette zone délimitée est conçue pour accueillir les aéronefs lors des opérations l'embarquement et de débarquement des passagers, de la poste et du fret ainsi que pour l'avitaillement, le garage, l'entretien et la préparation des vols.

- **L'aire de trafic passager** : est réservée aux manœuvres et aux stationnements des aéronefs pendant que Les passagers effectuent leurs embarquements et débarquement. Elle peut également servir à l'avitaillement ou à l'entretien des aéronefs en stationnement, ainsi qu'au chargement ou déchargement du fret, de la poste et des bagages.
- **L'aire de trafic fret** : destinée aux avions transportant uniquement du fret ou de la poste. La séparation des aéronefs cargo et des aéronefs passagers est en effet souhaitable, chaque type d'avion exige un traitement, installations et des équipements différents.
- **Aire de garage** : est principalement utilisée pour le stationnement des aéronefs en dehors des périodes d'escale. Cependant, elle peut être mise en service lors des pics de trafic nécessitant une conception adaptée.
- **Les aires de stationnement (les postes de stationnement)** : sont des zones spécifiques sur la plate-forme aéroportuaire destinées à recevoir les aéronefs pendant l'embarquement ou le débarquement, le ravitaillement en carburant, le stationnement au repos et l'entretien.

En pratique, les aires de trafic passagers ou fret peuvent représenter un élément de saturation sur un aéroport. Les gestionnaires devront vérifier que le nombre de postes de stationnement et leur disposition est compatible avec les volumes et les dimensions des aéronefs du trafic attendu, notamment pendant les heures de pointe. Les limitations de capacité dues à l'insuffisance du nombre de postes conduisent souvent à l'utilisation de positions déportées inconfortables pour les passagers et pénalisantes pour les compagnies aériennes.



FIGURE 3: AIRE DE TRAFIC

➤ **L'aire d'entretien**

Sur les grands aérodromes commerciaux l'aire d'entretien est spécialement aménagée en tant qu'une zone principale où les transporteurs aériens décident d'établir leurs services d'entretien. La conception de cette aire est étroitement étudiée en liaison avec ces services pour assurer leur efficacité.



FIGURE 4: L'AIRE D'ENTRETIEN

2.2.2 La capacité aéroportuaire

Pour connaître le trafic qui peut être traité par un aéroport, il est nécessaire de déterminer la capacité de cet aéroport, c'est-à-dire de chacun des maillons qui le constituent. La capacité est une donnée capitale aussi bien pour le gestionnaire de l'aéroport que pour l'organisme de tutelle ou encore les compagnies aériennes. C'est à partir de cette donnée que pourront être déterminés le trafic que peut traiter l'infrastructure, la date prévisible de saturation de l'infrastructure compte tenu de l'évolution prévue du trafic, les éléments bloquants d'un aéroport, ce qui permettra d'optimiser l'infrastructure.

Une première définition de la capacité adoptée par les services de l'aviation civile concerne « **la capacité théorique** » ou cadence qui est définie comme le nombre maximum d'aéronefs que le système de pistes pourrait physiquement écouler dans l'unité de temps (l'heure) sans tenir compte de la qualité de service ». En principe, celle-ci peut être estimée en utilisant la théorie des files d'attente.

La prise en compte théorique d'aléas fréquents notamment des incertitudes sur la vitesse des aéronefs, sur la vitesse du vent, a conduit à définir « **la capacité pratique** » comme étant le débit maximal de trafic écoulé avec une qualité de service égale ou supérieure à un seuil indiqué au préalable.

L'expérience acquise au cours des dernières décennies a montré que cette méthode conduit à des erreurs importantes lorsque les niveaux de trafic sont élevés. Ceci a entraîné l'évolution de la notion de capacité en spécifiant le régime de fonctionnement associé. Ainsi une autre définition a été proposée : « la capacité est le nombre maximum de mouvements qu'un aéroport peut écouler pendant un intervalle de temps donné quand la demande est continue. ». Dans cette optique plusieurs capacités peuvent être définies :

- La capacité finale qui est le nombre maximum d'avions qui peut être traité par la plate-forme pendant un intervalle de temps donné avec un niveau constant de la demande.
- La capacité pratique qui est le nombre d'avions qui peut évoluer sur la plate-forme pendant un intervalle de temps donné avec un niveau moyen de retard prédéfini. Cette capacité pratique tient compte des aléas qui interviennent pendant les manœuvres des avions au sol. La capacité pratique de l'aéroport

résulte de la confrontation entre d'une part l'infrastructure physique de l'aéroport, avec les procédures opérationnelles qui y sont mises en œuvre (c'est l'offre) et d'autre part la demande de service, caractérisée par sa composition (les types d'avions mis en jeu), son caractère aléatoire et ses fluctuations.

2.2.2.1 La capacité des sous-systèmes

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

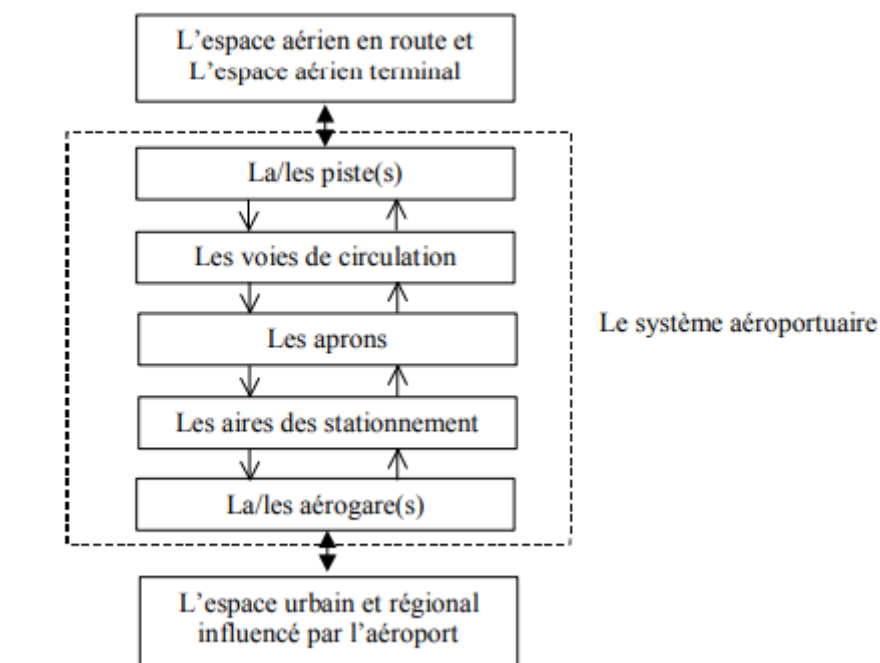


FIGURE 5: SYSTEME AEROPORTUAIRE

- **La capacité des postes de stationnement** : peut être représentée par le nombre maximum d'avions pouvant utiliser les postes de stationnement pendant un intervalle de temps avec un niveau constant de demande. Parmi les facteurs qui influencent la capacité des postes de stationnement on peut citer

principalement : le nombre et le type de postes disponibles, la composition de la flotte (envergure des avions, moyens autonomes de manœuvre au poste), la qualité et le niveau des services du personnel sol, les restrictions imposées aux divers types d'avions et le type de vols opérés (vols domestiques, internationaux, intercontinentaux).

- **La capacité des aprons** : peut être représentée par le nombre maximum d'avions pouvant transiter par les aprons pendant un intervalle de temps avec un niveau constant de demande.
- **La capacité des voies de circulation** : peut être représentée par le nombre maximum d'avions pouvant évoluer dans ce sous-système pendant un intervalle de temps donné de manière fluide avec un niveau constant de demande. Elle dépend principalement de la disponibilité de l'infrastructure aéroportuaire, de la configuration de l'aéroport, de la politique de contrôle du trafic sol. Les voies de circulation sont l'interface entre les postes et les pistes, les deux flux du trafic (les arrivées et les départs) s'y croisent et leur interaction peut y être génératrice de problèmes (retards, conflits, sécurité). En conséquence une bonne gestion et coordination des mouvements y est essentielle pour assurer en toute sécurité une meilleure utilisation de cette ressource.
- **La capacité des pistes** : peut être représentée par le nombre maximum d'opérations (atterrissages et décollages) pouvant être effectués dans un intervalle de temps de manière fluide avec un niveau constant de demande. Les facteurs qui influent sur la capacité du sous-système des pistes sont principalement : la demande du trafic, la configuration de l'aéroport, les conditions météorologiques, la disponibilité des services du contrôle sol.

2.2.2.2 L'insuffisance des capacités aéroportuaire

La croissance prévue du transport aérien exercera une pression additionnelle sur la capacité aéroportuaire et des systèmes de contrôle aérien pour cela beaucoup des Moyens sont utilisés pour accroître cette capacité comme :

- Nouvelles pistes et aérogares.
- Nouvelles technologies.

- Gestion de la demande (augmenter les frais d'utilisation à l'heure de pointe).
- Prolongement des heures d'utilisation (exceptions au couvre-feu) Bannir les vols non commerciaux.

2.2.3 Analyse de la fonction de gestion du trafic avion au sol

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

Afin de gérer les arrivées, les informations suivantes doivent être fournies sur chaque avion à l'arrivée

- **Piste d'atterrissage et heure d'atterrissage prévu** Ces informations sont fournies par le système de contrôle du trafic aérien, qui coopère avec le système de gestion. Sa précision, en particulier au moment de l'atterrissage, dépend en grande partie de Plage de prévision.
- **Le poste ou l'aire de stationnement prévu** Ces informations peuvent être fournies par la compagnie aérienne exploitant l'aéronef, ou par le système de gestion du trafic.
- **Poste de stationnement, heure de départ programmée** Ces informations peuvent être obtenues auprès de la compagnie aérienne et doivent être regroupés au niveau du système de gestion du trafic au sol.

2.3 Etude de l'existant de l'aérodrome DABC

2.3.1 Présentation de l'aérodrome de Constantine MOHAMAD

Boudiaf

L'Aéroport de Constantine, nommé « Mohamed BOUDIAF », est un aéroport civil international, construit en 1943 pour l'armée américaine situé sur le plateau d'Ain El Bey à 12 KM du centre-ville de Constantine, depuis, il a subi certains renforcements, aménagement et extensions. Parmi les opérations majeures réalisées à partir de 1999, nous citons :

- Construction d'une nouvelle piste atterrissage de 3000mètre de longueur sur 45mètre de largeur.
- Aménagement d'un Taxiway de 1700 mètre de longueur sur 45 mètres de largeur.
- Extension du parking avion et de l'aérogare passagers.

Une nouvelle aérogare a été réalisée en 2013, couvrant une superficie de 16200 m² sur deux niveaux. Cette infrastructure est conçue pour accueillir un flux de 1 200 000 passagers par an, et comprend divers espaces destinés à des usages administratifs et commerciaux.



FIGURE 6: AEROPORT DE CONSTANTINE

2.3.2 Situation géographique de Constantine

L'aérodrome de Constantine est situé dans une région montagneuse, cela implique des restrictions en matière de pente, qui doivent être exigées pour les décollages et les atterrissages pour le respect de la sécurité.



FIGURE 7: LOCALISATION DE L'AERODROME DE CONSTANTINE

2.3.3 Description de l'aérodrome de Constantine

Aérodrome	Mohamed BOUDIAF – CONSTANTINE
Code OACI	DABC
Code IATA	CZL
Classification	Catégorie A
Statut	Civil
Superficie	458 HA 20 ARE et 24 CA
Distance Aéroport – Ville	12 KM
Altitude	706 Mètres par rapport au niveau de la mer au seuil 34
Coordonnées géographiques	Latitude 40°-38,25 N / Longitude : 4°-75,52 E

TABLEAU 1: FICHE TECHNIQUE DE L'AERODROME DE DABC

2.3.4 Infrastructure liée à l'aéroport de Constantine

2.3.4.1 Les Pistes

L'aérodrome de Constantine dispose de deux pistes convergentes construites en dur, les deux pistes sont des pistes des précisions et utilisés pour le décollage et l'atterrissage et desservie par un ILS catégorie1.

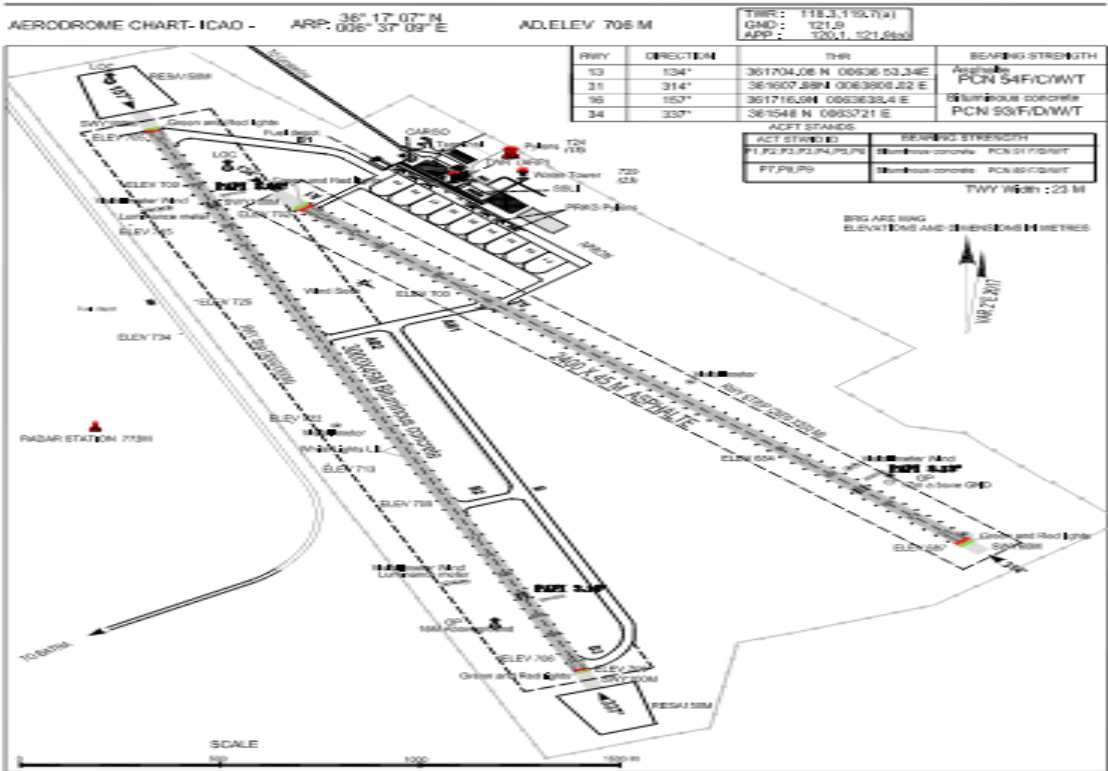


FIGURE 8: CONFIGURATION DES PISTES DE DABC

Piste	Direction réelle	Longueur	Largeur	Nature	Avion critique
16	159°	3.000 m	45 m	Souple	B767
34	339°				
13	136°	2.400 m	45 m	Souple	B737
31	316°				

TABEAU 2: CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES PISTES DE DABC

Piste	Résistance piste et SWY	Pente de piste et SWY	Altitude de seuil
16 /34	93 F/D/W/T	RWY 16 : 0%	RWY 16 :705m
		RWY 34 : 0.054%	RWY 34 :706m
13 /31	54 F/C/W/T	RWY 14 : -0.6%	RWY 14 :702m
		RWY 32: 0.6%	RWY 32 :687m

TABEAU 3: CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES PISTES ET SWY DE DABC

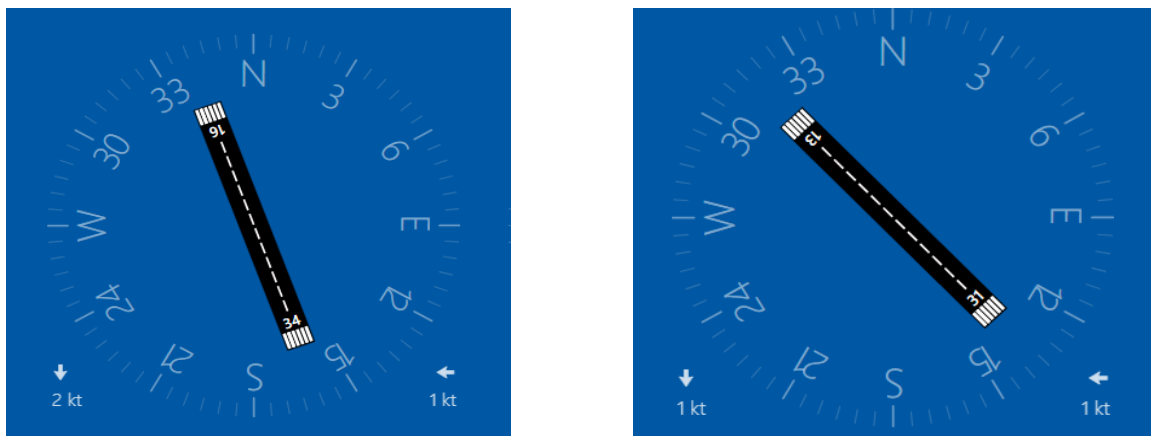


FIGURE 9 : ORIENTATION DES PISTES

2.3.4.2 Voies de circulation

Les voies de circulation de l'aérodrome de Constantine ont une largeur de 23 mètres, elles sont réalisées en béton bitumineux (PCN=93) ce qui assure le déplacement des aéronefs qui utilisent la piste principale et qui nécessitent une grande résistance du sol. Le Marquage des pistes et des voies de circulation contient : les Marques de seuils, les Marques axiales de piste, les Marques de distances constantes, les Marques d'identification de QFU, les Marques de bord de piste, et les marques axiales des voies de circulation

2.3.4.3 Les aires de stationnement

Sur l'aérodrome de Constantine, le parking comprend neuf postes de stationnement (également appelés tarmacs), répartis comme suit : trois postes pour les avions lourds, cinq postes pour les avions moyens et un poste pour les ATR ou les avions de taille inférieure. L'aire de trafic, construite en béton bitumineux, est destinée au stationnement des aéronefs.

Désignation	Dimension(m)	Nature/Qualité	Nombres postes stationnement	Type d'aéronefs prévus	État actuel
01	700*150	Souple	09	A330 B767 IL76 A310 B737-800 B737-600 ATR72	Moyen

TABLEAU 4: CARACTERISTIQUES DES POSTES DE STATIONNEMENT

2.3.4.4 Bretelles

Nombre	Dimension (m)	Nature/Qualité	Résistance	État actuel	Autre information
		PISTE PRINCIPALE 16/34			
B	(540 *23) +10 Accotement de part et d'autre		PCN 93 F/CW/T	MOY	Relie le seuil 16 à l'aire de trafic
B2	(150*23) + 10 Accotement de part et d'autre		PCN 93 F/CW/T	MOY	Relie la piste 16/34 au Taxiway
AB	(420*23) + 10 Accotement de part et d'autre		PCN 93 F/CW/T	MOY	Reliant la piste 16/34 à la piste 13/31
		Piste Secondaire 13/31			
A2	(152 * 25) + 7 Accotement de part et d'autre		PCN 93 F/CW/T	MOY	Relie la piste 13/31 à l'aire de trafic
A	(150 * 23) + 10 Accotement de part et d'autre	Souple	PCN 54 F/CW/T	MOY	Reliant le seuil 13 à l'aire de trafic

TABLEAU 5: CARACTERISTIQUES DES BRETELLES

2.3.4.5 Aides à la navigation

Type	Distance	Direction
VOR-DME	2,3KM	324°
NDB	14KM	134°

TABLEAU 6: LES AIDES A LA NAVIGATION**2.3.4.6 ATS Communication Facilities**

Service désignation	Call sign	Channel	Hours of operation	Remarks
TWR	CONSTANTINE TWR	118.3 - 119.7 Mhz (a)	H 24	NIL
APP	CONSTANTINE APP	120.1 – 121.9 Mhz(a)	H24	NIL
SOL	CONSTANTINE SOL	121.9 Mhz	H24	NIL

TABLEAU 7: LES SERVICES DE CONTROLE DE DABC**2.3.4.7 Contrôle d'approche Constantine**

Zone	Limites verticales	Classification de l'espace aérien
Zone d'approche	430GND/MSLFL150	D

TABLEAU 8: CLASSIFICATION DE L'ESPACE AERIEN DE DABC

2.3.4.8 Aéroports à proximité

Aéroport	ID	Distance	Direction
<u>Telerghma Airport</u>	DAAM	30 km	231°
<u>Aéroport de Batna</u>	DABT	65 km	205°
<u>Aéroport d'Oum el Bouaghi</u>	DABO	74 km	126°
<u>Aéroport de Jijel - Ferhat Abbas</u>	DAAV	88 km	311°
<u>Ain Arnat Airport</u>	DAAS	116 km	265°
<u>Annaba Rabah Bitat Airport</u>	DABB	123 km	059°
<u>Aéroport de Tébessa - Cheikh Larbi Tébessi</u>	DABS	147 km	289°
<u>Aéroport de Bejaia / Soummam – AbaneRamdane</u>	DAAE	165 km	124°

TABLEAU 9: AEROPORTS A PROXIMITE DE DABC

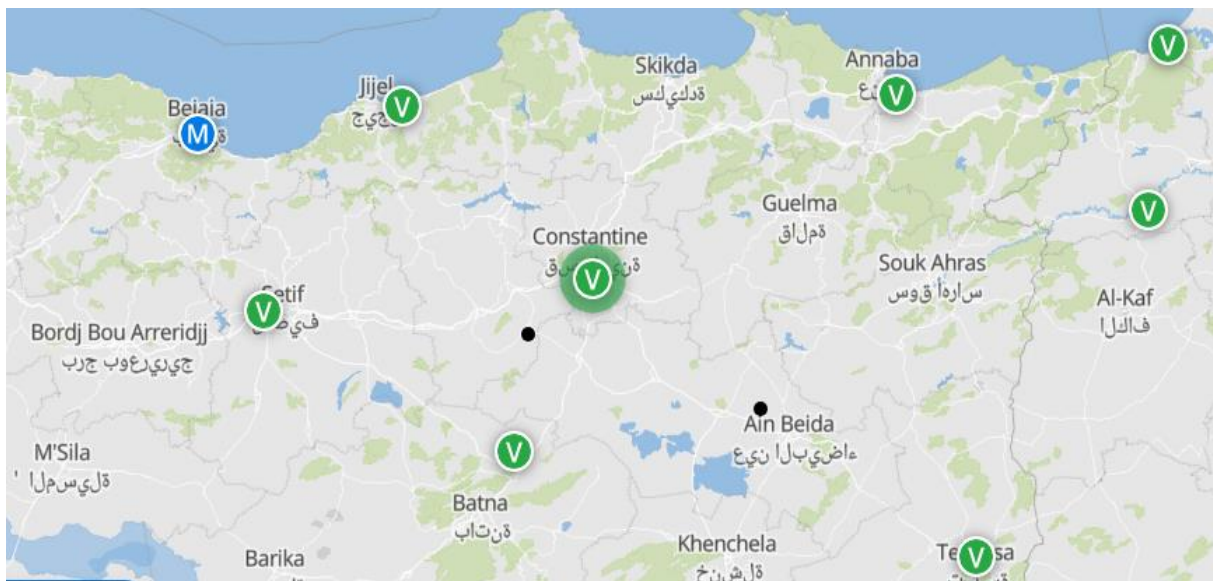


FIGURE 10: AERODROME A PROXIMITE DE DABC

2.3.4.9 Les obstacles de l'aérodrome de Constantine

Les obstacles autour de l'aérodrome de Constantine sont d'une hauteur importante, par conséquent, le mouvement des aéronefs est plus difficile. Les obstacles sont un facteur qui affecte la capacité.

Présentation des obstacles de l'aérodrome de Constantine

- **Les obstacles de l'aérodrome - piste14 - :**

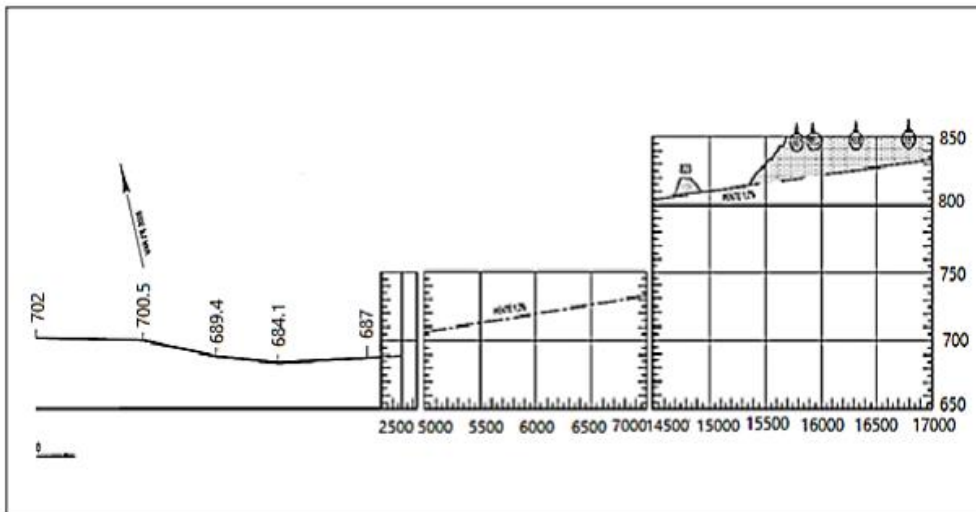


FIGURE 11: HAUTEUR DES OBSTACLES DE LA PISTE 14

- **Les obstacles de l'aérodrome – piste 32 - :**

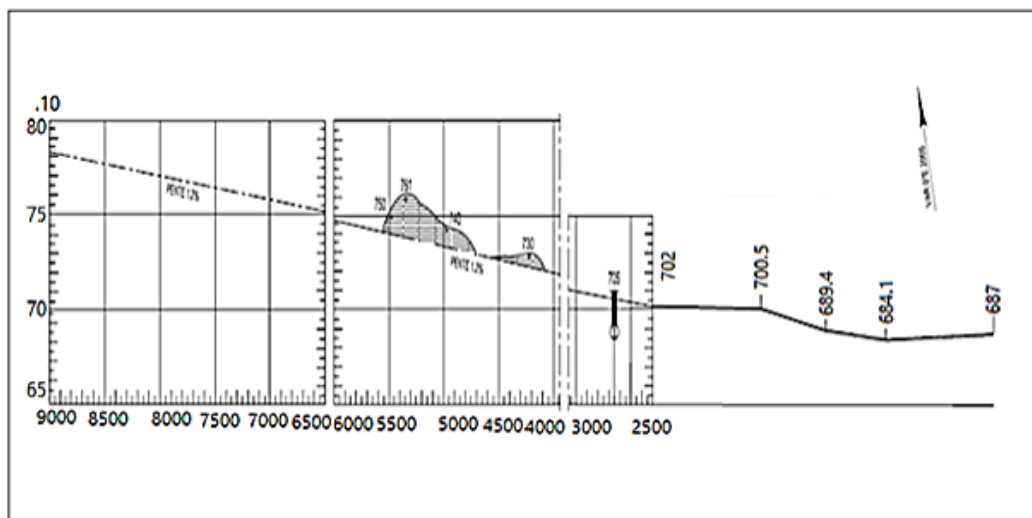


FIGURE 12: HAUTEUR DES OBSTACLES DE LA PISTE 32

- Les obstacles de l'aérodrome – piste 34 - :

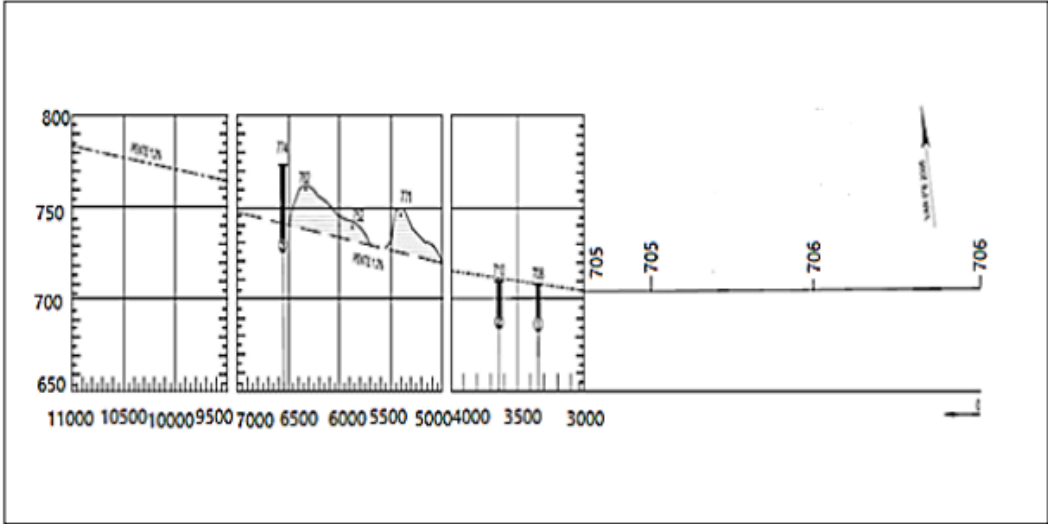


FIGURE 13 : HAUTEUR DES OBSTACLES DE LA PISTE 34

- Les obstacles de l'aérodrome – piste 16 - :

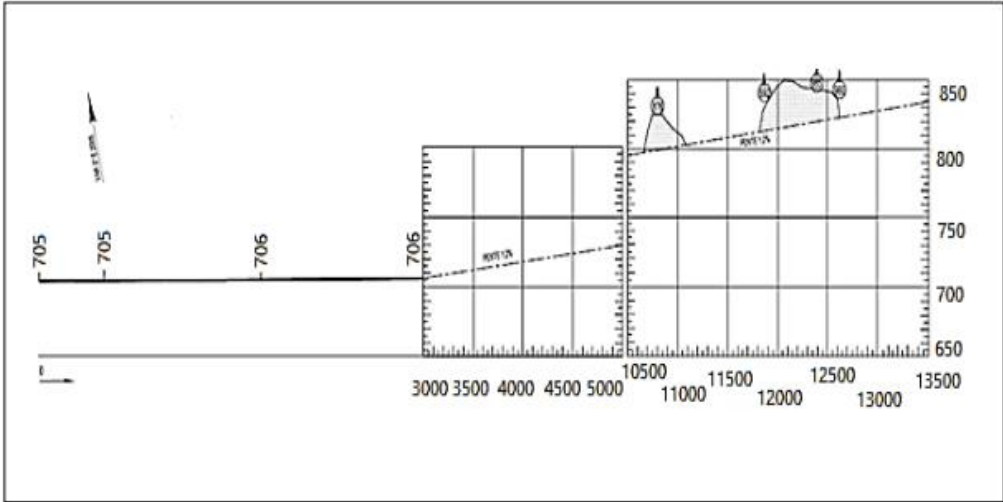


FIGURE 14: HAUTEUR DES OBSTACLES DE LA PISTE 16

2.3.4.10 Trafic sur L'aérodrome de Constantine DABC

L'aérodrome de Constantine Mohamed Boudiaf est un aéroport sollicité par un grand nombre de trafic, ce qui rend les recherches sur son état de fonctionnement très important. Le résultat de cette recherche aidera à comprendre l'état actuel de la capacité de l'aérodrome en question.

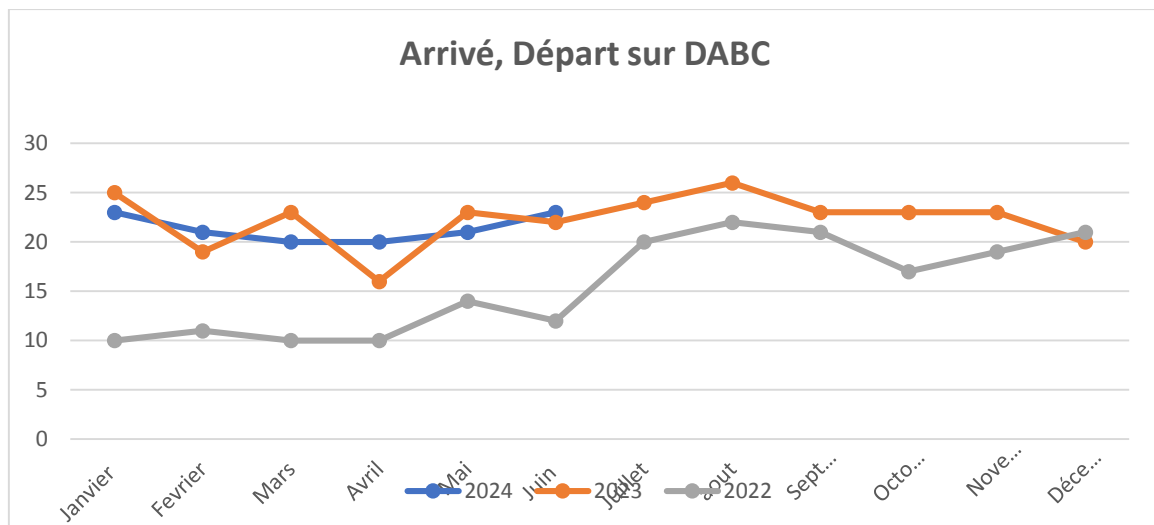


FIGURE 15: TRAFIC SUR DABC

Une représentation graphique du nombre de mouvements sur DABC par mois pour 2022, 2023 et 2024, d'après cette illustration nous constatons que le trafic aérien sur DABC connaît une croissance soutenue, et toutes les prévisions indiquent que cette tendance va se poursuivre à un rythme considérable au cours des prochaines années.

2.4 Conclusion

L'efficacité maximale d'un aéroport n'est obtenue qu'en réalisant un équilibre entre, d'une part, les aérogares de passagers et de fret, et d'autre part le système de pistes, le système de postes de stationnement et les zones d'entretien des avions. Il est clair qu'adapter les flux de trafic futurs nécessitera une amélioration significative des conditions de circulation au sol. N'oublions pas que pour les compagnies aériennes et les passagers, le vol commence et se termine sur les voies de circulation de l'aéroport.

Partie expérimentale

3 CHAPITRE3 : LA MISE EN PLACE D'UNE PLATEFORME AUTOMATISEE VISANT A RESOUDRE LE PROBLEME DE SATURATION DU PARKING DE DABC

3.1 Introduction

Depuis quelques années, l'image du transport aérien national en Algérie est ternie par l'ampleur des retards. En effet, la capacité limitée des aéroports est le principal goulot d'étranglement du système de gestion du trafic aérien. De nombreux aérodromes nationaux sont au bord de la saturation, ce qui aura un effet négatif considérable sur tous les transporteurs aériens. En prenant le cas de Constantine, Actuellement un vol sur quatre est retardé de plus de quinze minutes. Aucun voyageur aérien n'a l'assurance de la ponctualité de son vol.

Si cette saturation imminente ne peut être évitée, elle aura un impact majeur sur la sécurité, L'efficacité, la ponctualité et la mobilité des opérations de transport aérien.

Les principales raisons des retards sont liées à la gestion des aérodromes. Cette gestion concerne à la fois les mouvements des avions au sol, le séquençage des pistes et la gestion de parking, cette dernière étant bien plus souvent impliquée.

3.2 Problématique

Ces dernières années, les vols à destination de Constantine subissent des retards indéterminés. Il arrive fréquemment que certains vols aient des retards de plus de deux heures. De plus, il peut arriver que l'aérodrome affiche « complet », empêchant ainsi l'arrivée de nouveaux vols en raison de la saturation du parking.

Ce problème est attribuable au mode de gestion actuel, qui favorise le principe du « premier demandeur, premier servi ». Lorsque l'Aérodrome est sur demande, tout le trafic peut être pénalisé en cas où le premier demandeur est le dernier arrivé, du coup il pénalisera tout le reste des vols qui prévoient de décoller juste après lui, mais susceptibles d'arriver bien avant.

Le premier demandeur, auquel s'ajoute que la mise en route n'est accordée pour le prochain vol à destination de Constantine que si une place s'est libérée par un vol au départ, peuvent entraîner des retards significatifs.

3.3 Principe actuel

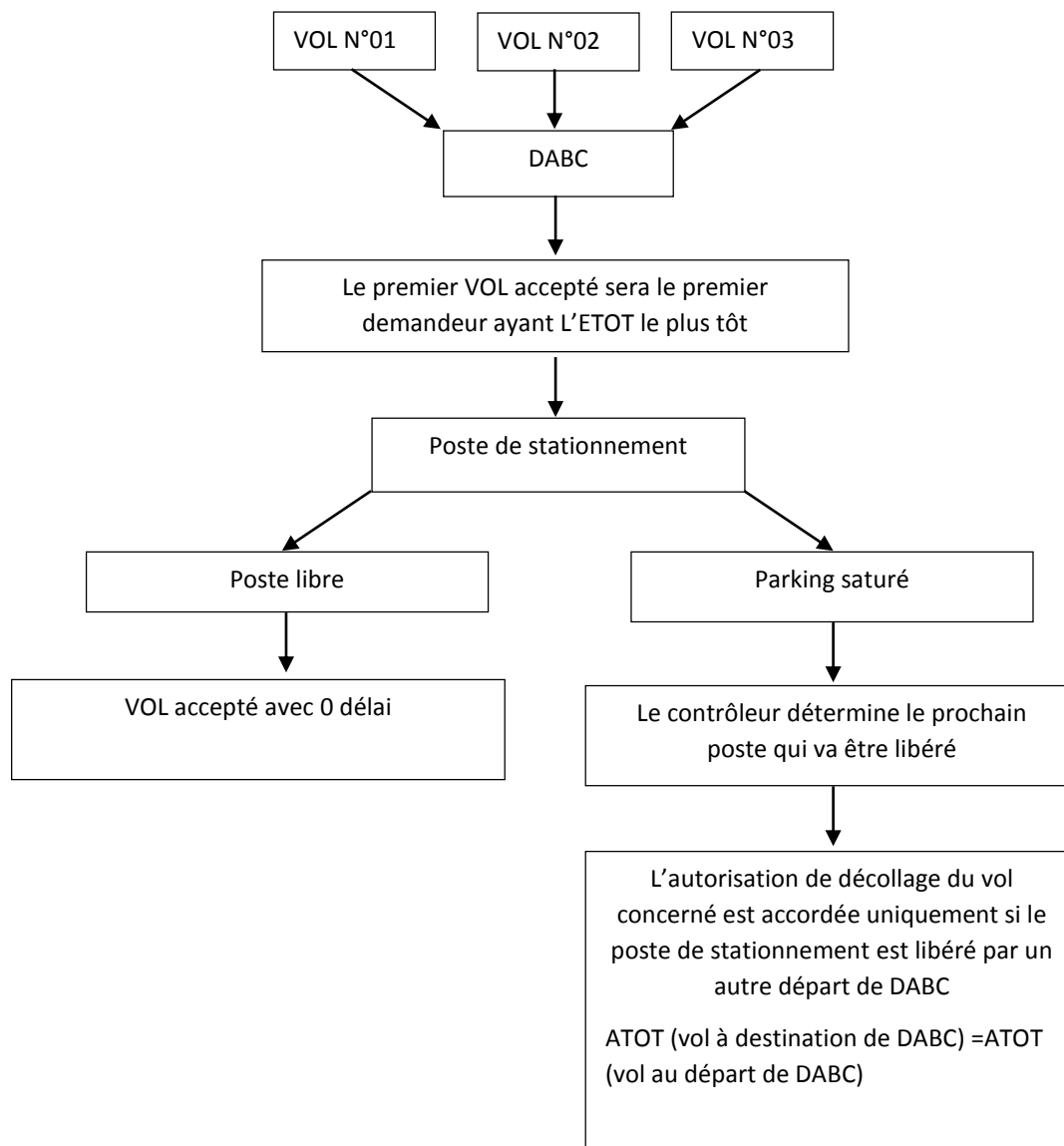


FIGURE 16: SCHEMA PRESENTANT LE PRINCIPE ACTUEL DE GESTION DE PARKING DE DABC

Ce principe prend en considération les ETOT des arrivées. C'est à dire, le premier vol accepté à l'aérodrome DABC est celui dont le départ est programmé en premier, et le poste de stationnement à DABC lui est réservé à partir de son départ jusqu'à son arrivée. Après, si le poste de stationnement est occupé, le vol suivant arrivant sur DABC se voit attribuer une heure de départ retardée jusqu'à ce que le poste de stationnement soit libéré par le prochain départ. Cela entraîne un

changement de son ETOT en ATOT, qui est son ETOT initial additionné à la durée du créneau horaire attribué (ATOT=ETOT+DLA).

Pour mieux comprendre ce principe nous l'avons illustré à l'aide d'une simulation sur Excel de trois arrivés en précisant à chaque fois le délai accordé à chaque vol :

"Premier demandeur Premier servi"

Place disp	Place Libé								
Libre									
9:50 AM									
10:20 AM									
10:40 AM									
	11:00 AM								
	11:20 AM								
	12:20 PM								
N° de vo	ADEP	ETOT	ETA	DLA	ATOT	ATA	ESCAL	Place occupée	Place libérée
1	DAOF	7:00 AM	9:40 AM	00:00:00	7:00 AM	9:40 AM	01:20:00	Libre	11:00 AM
2	DAUH	7:20 AM	8:50 AM	02:30:00	9:50 AM	11:20 AM	01:10:00	9:50 AM	12:30 PM
3	DAAG	7:30 AM	7:55 AM	02:50:00	10:20 AM	10:45 AM	00:35:00	10:20 AM	11:20 AM
Retard tot				05:20:00					

FIGURE 17: SIMULATION DU PRINCIPE " PREMIER DEMANDEUR PREMIER SERVI"

Dans cette simulation un poste libre est occupé en premier lieu par le départ prévu de DAOF, qui est le premier à demander la mise en route. Ensuite le prochain poste libre à Constantine est prévu à 09h50 qui devient L'ATOT du prochain vol de DAUH ce qui impose un délai de 2h30. Enfin, le dernier vol demandeur de DAAG, peut décoller une fois le poste de PKG à DABC est libéré vers 10h20 ce qui retarde le décollage de 2h50 soit à 10h20 au lieu de 07h30.

En faisons la somme de ces délais attribués à chaque vol on aboutit à un retard total de 5 heures et 20 minutes ce qui est extrêmement pénalisant pour un programme comprenant seulement trois arrivées.

3.4 Résolution de la problématique : application du principe premier arrivé premier servi

Après avoir évalué le principe de gestion actuel à Constantine, nous avons constaté que les retards observés dans cet aéroport sont dus à la priorisation des

vols en fonction de leur heure de départ. Pour résoudre cette problématique, nous proposons d'adopter une approche où les vols sont acceptés selon leur heure d'arrivée, introduisant ainsi le principe du "premier arrivé à la zone régulée DABC, premier servi". Ce principe accorde la priorité au vol ayant l'ETA le plus tôt.

Dans le but d'évaluer l'efficacité de cette solution, nous allons effectuer la même simulation précédente, mais en appliquant le nouveau principe.

"Premier arrivé, Premier servi"

Place disp	Place libér	marge								
Libre		00:30:00								
9:50 AM	9:00 AM									
10:20 AM										
10:40 AM	10:40 AM									
	12:10 PM									
N° de vo	ADEP	ETOT	ETA	DLA	CTOT	CTA	ESCAL	place occupée	depart	poste libér
1	DAAG	7:30 AM	7:55 AM	00:00:00	7:30 AM	7:55 AM	00:35:00	Libre	8:30 AM	9:00 AM
2	DAUH	7:20 AM	8:50 AM	00:10:00	7:30 AM	9:00 AM	01:10:00	9:00 AM	10:10 AM	10:40 AM
3	DAOF	7:00 AM	9:40 AM	00:40:00	7:40 AM	10:20 AM	01:20:00	10:20 AM	11:40 AM	12:10 PM
Retard tot				00:50:00						

FIGURE 18: SIMULATION DU PRINCIPE " PREMIER ARRIVE PREMIER SERVI"

Dans ce scénario, le principe repose sur l'analyse des ETA c'est-à-dire que le premier avion arrivant à Constantine, DAAG, a la priorité pour occuper le poste libre, décollant ainsi sans délai. Ensuite, le deuxième avion, DAUH, arrivant à Constantine, occupera le poste libéré par celui de DAAG à 8h30 avec une marge de sécurité de 30 minutes, étant sloté avec un délai de 10 minutes et arrivant à 09 h00. Enfin, le troisième vol de DAOF, arrivant à DABC, occupera le poste libéré à 9h50 avec 30 minutes de sécurité ajoutée, ce qui nous donne un délai de 40 minutes.

Conclusion

En additionnant ces délais attribués, le total est de 50 minutes de retard. En priorisant le premier avion arrivé, nous avons réussi à réduire le retard de 5 heures et 20 minutes à 50 minutes. Comme les résultats de cette simulation sont satisfaisants, nous avons décidé d'automatiser cette solution en développant une plateforme automatisée basé sur les données de plans de vol (FPL).

3.5 Réalisation de la plateforme

3.5.1 Etude de l'existant

Le trafic analysé pour la journée du 23 avril 2024 a montré qu'il s'agissait de la journée la plus chargée du mois. La période de saturation s'est étendue de 7 heures à 11 heures. Cette journée détaillée de 6h jusqu'à 12h comporte 13 arrivées et 12 départs. Ces données de trafic contiennent les horaires de départs et des d'arrivées des avions, ainsi que leur type (B737, ATR72, etc.), permettant ainsi la détermination des besoins en postes de stationnement mais aussi d'infrastructure du système de piste. Dans notre application, que nous avons donné le nom de ASA (Airport Slot Allocation), le type d'avion n'est pas pris en considération dans l'étude.

L'utilisation des postes de stationnement : Dans le cas du scénario d'infrastructure actuelle, les postes de stationnement sont utilisés conformément aux informations figurant sur le manuel d'exploitation des postes de stationnement du gestionnaire de l'infrastructure.

ARCID	REG	A/type	ADEP	ADEST	ETOT	ATOT	SLOT
DAH6012	7TVJU	B736	DAAG	DABC	6:10	6:29	
DAH6190	7TVUS	AT72	DAAG	DABC	6:10	6:53	
ZSEAK	ZSEAK	B190	ZZZZ	DABC	7:00	7:04	
7TWRQ	7TWRQ	B350	DAAK	DABC	7:10	7:08	
7TWIG	7TWIG	IL76	DAAK	DABC	7:10	7:39	
DAH1460	7TVJL	B738	DABC	LFLL	8:10	8:25	
DAH1426	7TVJN	B738	DABC	LFML	8:10	8:40	
SATURATION							
DAH1170	7TVJU	B736	DABC	LLFSB	8:00	8:07	
7TVAM	7TVAM	B190	DAEK	DABC	7:00	7:23	0:23
DAH1426	7TVJN	B738	DABC	LFML	8:10	8:40	
DAH6256	7TVUP	AT72	DAAG	DABC	7:10	8:50	1:40
DAH1460	7TVJL	B738	DABC	LFLL	8:10	8:25	
DAH6168	7TVUK	AT72	DAOO	DABC	7:50	7:52	
DAH6191	7TVUS	AT76	DABC	DAAG	7:10	8:30	
DTH1518	7TVCO	DH8D	DAFH	DABC	8:00	8:52	0:52
7TWIG	7TWIG	IL76	DABC	DAOF	9:30	9:22	
DTH1967	7TVCA	B738	DAUH	DABC	8:45	9:10	0:25
7TVAM	7TVAM	B190	DABC	DAEK	10:40	10:20	
TVF20CQ	FHUYR	B738	LFPO	DABC	8:57	9:13	
DAH6169	7TVUK	AT75	DABC	DAOO	10:20	10:15	
7TWRQ	7TWRQ	B350	DABC	DAAV	10:30	10:18	
DAH6256	7TVUI	AT75	DABC	DAUO	10:15	10:24	
DTH1519	7TVCO	DH8D	DABC	DAFH	11:10	10:46	
DTH1968	7TVCA	B738	DABC	DAUH	10:50	11:11	
7TVIT	7TVIT	B190	DABC	ZZZZ	11:25	11:39	
DAH1427	7TVJN	B738	LFML	DABC	10:51	10:55	

FIGURE 19 ETAT DE PARKING DE DABC EN PERIODE DE SATURATION

La figure 19 illustre les arrivées et les départs de l'aérodrome de Constantine de 6h à 12h, reflétant la réalité au moment de la saturation, en appliquant le principe du premier demandeur, premier servi, avec des ajustements par les contrôleurs. Avant 7h, le parking de l'aérodrome DABC disposait de 5 postes libres réservés pour les prochains arrivants, comme indiqué au-dessus du trait rouge. Ces postes ne peuvent pas être affectés à d'autres vols. Les vols DAH1425 et DAH1426 étaient stationnés à DABC et prévus pour libérer leurs postes à 8h10.

À 7h, le parking de DABC était complet, et les contrôleurs ont commencé à signaler la saturation par les messages suivant :

```
GG DAAZRZE DAAZRZX
230701 DAAAYNYX
□(A1093/24 NOTAMN
Q) DAAA/QMKXX/IV/NBO/A/000/999/3617N00637E005
A) DABC B) 2404230701 C) 2404230900
E) SATURATION OF PRKG AREA START UP ON REQUEST)

GG DAAZRZE DAAZRZX
230850 DAAAYNYX
□(A1095/24 NOTAMR A1093/24
Q) DAAA/QMKXX/IV/NBO/A/000/999/3617N00637E005
A) DABC B) 2404230850 C) 2404231000
E) SATURATION OF PRKG AREA START UP ON REQUEST)

GG DAAZRZE DAAZRZX
230945 DAAAYNYX
□(A1098/24 NOTAMR A1095/24
Q) DAAA/QMKXX/IV/NBO/A/000/999/3617N00637E005
A) DABC B) 2404230945 C) 2404231100
E) SATURATION OF PRKG AREA START UP ON REQUEST)
```

FIGURE 20: MESSAGES DE SATURATION

Alors des créneaux de départ ont été attribués aux prochains vols arrivant à Constantine. On note un total de retard cumulé de 3 heures et 20 minutes.

3.5.2 La Base de données utilisée

Le programme ASA utilise la base de données de trafic aérien de DABC, qui contient les plans de vol pour les arrivées et les départs de Constantine. Nous avons sélectionné spécifiquement les cases pertinentes dans le plan de vol pour cette période.

Exemple :

```

230003 EHAMTRAK
(FPL-TVF71XT-IS
-B738/M-SDFGHIJ1RWY/LB1
-DABC1200
-N0448F360 DCT CSO UR978 KAMER/N0455F380 DCT
BALEN DCT PADKO UN854
  MTL UM976 MADOT/N0446F340 UM976 MOPEM DCT PIBAT
PIBAT9W
-LFPO0152 LFPG
-PBN/A1B1C1D1O1S2 SUR/260B DOF/240423 REG/FHUYR
EET/LFFF0027
  SEL/ERJS CODE/39D311 OPR/TVF PER/C RVR/175
RMK/TCAS RMK/CALLSIGN
  FRANCE SOLEIL RMK/OCC CONTACT 0033185163210 RMK/
FLIGHT PERMIT
  1811 SDT DAE DG ANAC 2024)

```

FIGURE 21: MESSAGE PLAN DE VOL

- **Analyse des données du plan de vol**

CASE 7 : IDENTIFICATION DE L'AÉRONEF

Elle représente l'indicatif OACI de l'exploitant d'aéronefs suivi de l'identification du vol (exemples : KLM511, NGA213, JTR25), marque de nationalité ou commune et marque d'immatriculation de l'aéronef (exemples : EIAKO, 4XBCD, N2567GA).

CASE 9 : NOMBRE D'AÉRONEFS, TYPE D'AÉRONEF ET CATÉGORIE DE TURBULENCE DE SILLAGE

Elle représente le Type d'aéronefs approprié tel qu'il est spécifié dans le répertoire OACI des Indicatifs de types d'aéronef.

CASE 13 : AÉRODROME DE DÉPART ET HEURE EOBT

Elle représente l'indicateur d'emplacement OACI de l'aérodrome de départ, Indicateurs d'emplacement, OU ZZZZ, si aucun indicateur d'emplacement n'a été attribué, **IOBT** est l'Heure bloc de départ estimée.

CASE 15 : ROUTE**CASE 16 : AÉRODROME DE DESTINATION ET DURÉE TOTALE ESTIMÉE, AÉRODROMES DE DÉGAGEMENT À DESTINATION**

Elle représente l'indicateur d'emplacement OACI de l'aérodrome de destination OU ZZZZ, si aucun indicateur d'emplacement n'a été attribué, et durée totale estimée de vol plus l'indicateur d'emplacement des aérodromes de dégagements.

DOF/ 6 chiffres indiquant la date de départ du vol (sous la forme YYMMDD, où YY représente l'année, MM le mois et DD le jour). [3]

3.6 Fonctionnement du programme ASA

La première étape de réalisation de cette application informatique consiste à sélectionner les vols concernés par l'aérodrome de Constantine (les départs et les arrivées), en spécifiant pour chaque vol l'ETOT pour le départ et l'ETA pour l'arrivée. Il est également nécessaire d'ajouter les colonnes suivantes à la base de données : aérodrome de départ (ADEP), aérodrome de destination (ADEST), identification de l'aéronef ARCID, immatriculation (REG), et la durée de chaque vol. La base de données doit être au format Excel.

La deuxième étape consiste à classer les vols comme suit : si l'aérodrome de départ est DABC, le programme vérifie l'ETOT. Pour les vols d'arrivée, il doit vérifier l'ETA. Pour appliquer la règle du "premier arrivé, premier servi", il réorganise les ETA et ETOT par ordre croissant (du plus tôt au plus tard).

Ensuite, à chaque étape, il est nécessaire d'indiquer le nombre de postes disponibles dans le parking, avec $1 \leq N \leq 8$. Initialement, le départ est considéré comme un poste libre et l'arrivée comme un poste occupé. Lorsque le nombre de postes disponibles atteint 0, le système vérifie si le vol suivant est un départ : il est accepté automatiquement. Si c'est une arrivée, le système recherche le prochain

départ disponible. Pour le départ suivant, on lui ajoute 30 minutes à l'heure de décollage prévue. Cette heure ajustée devient l'heure calculée à laquelle le prochain vol doit arriver à DABC.

Ce créneau horaire est attribué 2 heures avant l'ETOT, et le vol concerné par ce créneau ne doit pas dépasser une fenêtre de 15 minutes pour le décollage. Les 30 minutes ajoutées à l'ETOT pour les départs représentent une marge de sécurité conformément aux normes de l'OACI, c'est-à-dire (-5, +10 minutes pour les vols déjà slotés et -15, +15 minutes pour les vols non slotés par rapport à l'ETOT), avec une tolérance de 15 minutes en cas de dépôt de délai donc en prenant en compte les marges maximales, cela donne une marge totale de 30 minutes.

Les plans de vol doivent être reçus (déposés) au plus tard 3 heures avant l'heure estimée de départ (ETD).

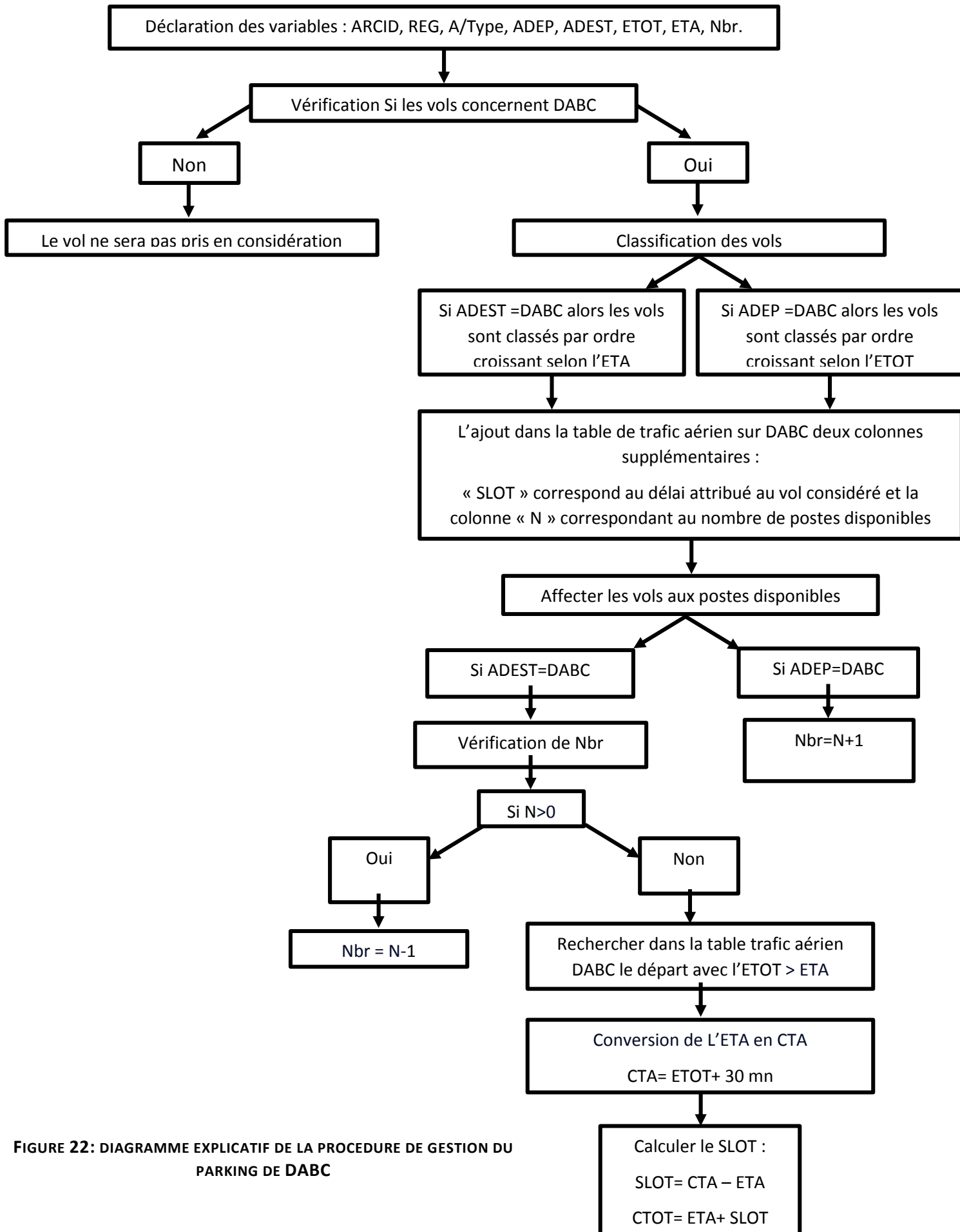


FIGURE 22: DIAGRAMME EXPLICATIF DE LA PROCEDURE DE GESTION DU PARKING DE DABC

3.7 Réalisation de la plateforme ASA

- Première partie

3.7.1 L'algorithme :

```

Pour chaque vol à saisir faire
  Saisir ADEP, ADEST, ETOT, ETA, A_Type, ARCID, REG
  Ajouter {ADEP, ADEST, ETOT, ETA, A_Type, ARCID, REG} à tableauVols
Fin Pour

Déclarer volsAuDepart, volsAdestination : Tableau de Vol

Pour chaque vol dans tableauVols faire
  Si vol.ADEP = "DABC" alors
    Ajouter vol à volsAuDepart
  Fin Si
  Si vol.ADEST = "DABC" alors
    Ajouter vol à volsAdestination
  Fin Si
Fin Pour

Trier volsAuDepart par ETOT croissant

Trier volsAdestination par ETA croissant

Afficher "Vols au départ de DABC (classés par ETOT croissant) :"
Pour chaque vol dans volsAuDepart faire
  Afficher "ADEP:", vol.ADEP, "ADEST:", vol.ADEST, "ARCID:", vol.ARCID, "REG:", vol.REG, "A/Type:", vol.A_Type,
  "ETOT:", vol.ETOT, "ETA:", vol.ETA
Fin Pour

Afficher "Vols à destination de DABC (classés par ETA croissant) :"
Pour chaque vol dans volsAdestination faire
  Afficher "ADEP:", vol.ADEP, "ADEST:", vol.ADEST, "ARCID:", vol.ARCID, "REG:", vol.REG, "A/Type:", vol.A_Type,
  "ETOT:", vol.ETOT, "ETA:", vol.ETA
Fin Pour

Déclarer N : Entier
Saisir N

Pour chaque vol dans tableauVols faire
  Si vol.ADEP = "DABC" alors
    N <- N + 1
  Sinon si vol.ADEST = "DABC" alors
    Si N > 0 alors
      N <- N - 1
    Sinon
      Afficher "Vol", vol.ARCID, "retardé."
      ProchainDepart <- TrouverProchainDepart(tableauVols, vol.ETOT)
      vol.ETA <- ProchainDepart.ETA + 30
      vol.SLOT <- vol.ETA - vol.ETA_original
    Fin Si
  Fin Si
Fin Pour

```

Fin

Cet algorithme a été initialement développé en Java, puis converti en code, lequel a été intégré dans le site "realisation Visual Studio", ce qui a donné naissance à la plateforme ASA.

Ce dernier vise à optimiser le délai total des vols impliqués à l'aérodrome de DABC, en introduisant en input la base de données de trafic aérien (figure 1) et obtenant en output la même base de données mais avec deux colonnes supplémentaires : « N » qui représente le nombre de postes disponible et la colonne « SLOT » qui représente le délai attribué au vol concerné.

3.7.2 Interface d'ASA

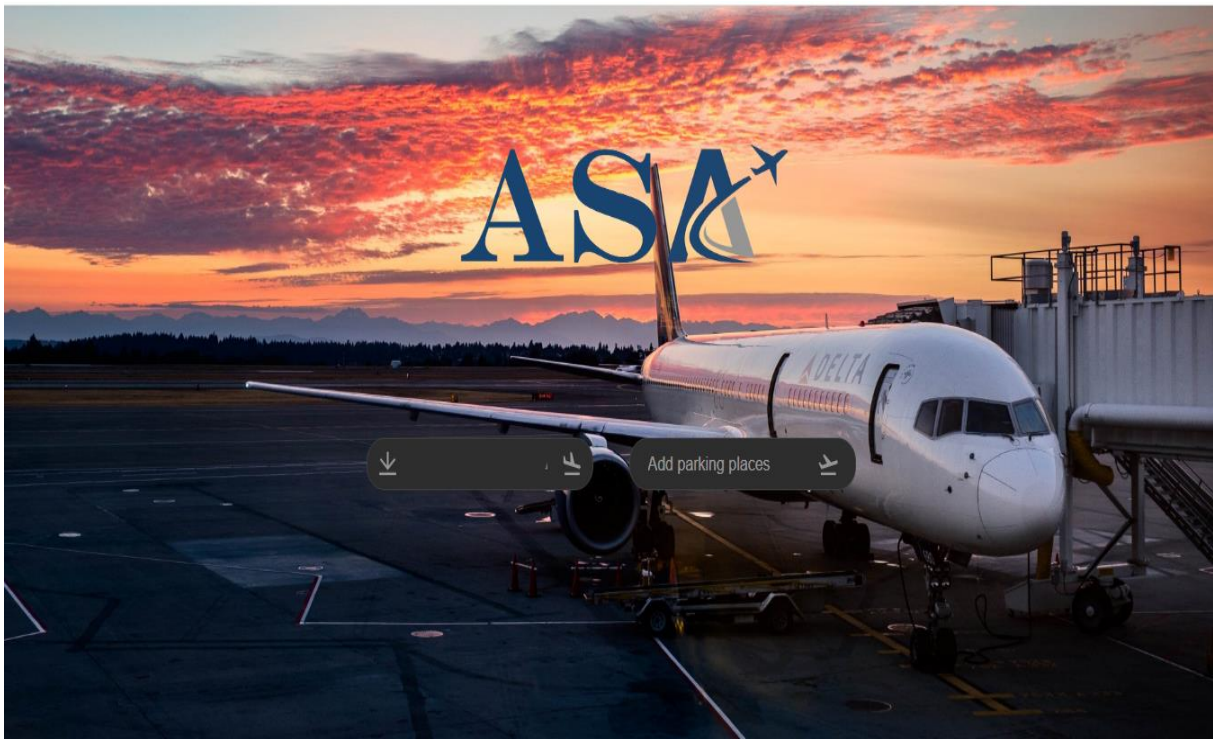


FIGURE 23: INTERFACE DE LA PLATEFORME ASA

Cette interface comprend deux boutons : le premier permet d'indiquer le nombre de postes de stationnement disponibles, avec une valeur par défaut de 8 si non spécifiée, et le deuxième pour insérer la base de données.

L'accès à cette plateforme se fait via le site suivant : <https://asa-airport.netlify.app>

- **Deuxième partie**

Nous avons intégré une base de données de trafic aérien sur DABC contenant les arrivées et les départs de l'aérodrome de Constantine de 6h à 12h le 23 avril 2024, afin de simuler un scénario de saturation mentionné précédemment, permettant ainsi une comparaison et une évaluation de l'efficacité de l'application.

3.7.3 La base de données intégrée

- **Les départs sur DABC**

ARCID	REG	A/Type	ADEP	ADEST	ETOT	DUREE	ETA
DAH6191	7TVUS	AT76	DABC	DAAG	7:10		
DAH1170	7TVJU	B736	DABC	LFSB	8:00		
DAH1426	7TVJN	B738	DABC	LFML	8:10		
DAH1460	7TVJL	B738	DABC	LFLL	8:10		
7TWIG	7TWIG	IL76	DABC	DAOF	9:30		
DAH6256	7TVUI	AT75	DABC	DAUO	10:15		
DAH6169	7TVUK	AT75	DABC	DAOO	10:20		
7TWRQ	7TWRQ	B350	DABC	DAAV	10:30		
7TVAM	7TVAM	B190	DABC	DAEK	10:40		
DTH1968	7TVCA	B738	DABC	DAUH	10:50		
DTH1519	7TVCO	DH8D	DABC	DAFH	11:10		
7TVIT	7TVIT	B190	DABC	ZZZZ	11:25		

Figure 24: les départs de DABC en période de saturation

- **Les arrivées de DABC**

ARCID	REG	A/Type	ADEP	ADEST	ETOT	DUREE	ETA
DAH6012	7TVJU	B736	DAAG	DABC	6:10	0:45	6:55
DAH6190	7TVUS	ATR72	DAAG	DABC	6:10	0:50	7:00
7TWIG	7TWIG	IL76	DAAK	DABC	7:10	0:35	7:45
DAH6256	7TVUP	AT72	DAAG	DABC	7:10	0:50	8:00
7TWRQ	7TWRQ	B350	DAAK	DABC	7:10	1:00	8:10
ZSEAK	ZSEAK	B190	ZZZZ	DABC	7:00	1:40	8:40
DTH1518	7TVCO	DH8D	DAFH	DABC	8:00	1:00	9:00
7TVAM	7TVAM	B190	DAEK	DABC	7:00	2:05	9:05
DAH6168	7TVUK	AT72	DAOO	DABC	7:50	1:30	9:20
DTH1967	7TVCA	B738	DAUH	DABC	8:45	0:55	9:40
TVF20CQ	FHUJR	B738	LFPO	DABC	8:45	1:49	10:34
DAH1427	7TVJN	B738	LFML	DABC	10:45	1:10	11:55
DAH1171	7TVJT	B736	LFSB	DABC	11:10	1:46	12:56

Figure 25: les arrivées de DABC en période de saturation

3.8 Résultats de simulation :

Il faut d'abord saisir le nombre total de postes disponibles dans le champ à droite. Pour notre simulation, nous avons indiqué cinq postes. Ensuite, importez la base de données en utilisant le bouton situé à gauche, comme illustré dans la figure.



FIGURE 26: INSERTION DE 5 POSTES ET DE LA BASE DE DONNEES

Les résultats seront ensuite affichés sous forme d'un tableau présentant les paramètres suivants :

ARCID	REG	A/Type	ADEP	ADEST	ETOT	DUREE	ETA	N	SLOT
DAH6012	7TVJU	B736	DAAG	DABC	06:10	00:45	06:55	4	
DAH6190	7TVUS	ATR72	DAAG	DABC	06:10	00:50	07:00	3	
DAH6191	7TVUS	AT76	DABC	DAAG	07:10			4	
7TWIG	7TWIG	IL76	DAAK	DABC	07:10	00:35	07:45	3	
DAH1170	7TVJU	B736	DABC	LFSB	08:00			4	
DAH6256	7TVUP	AT72	DAAG	DABC	07:10	00:50	08:00	3	
DAH1426	7TVJN	B738	DABC	LFML	08:10			4	
DAH1460	7TVJL	B738	DABC	LFLL	08:10			5	
ZSEAK	ZSEAK	B190	ZZZZ	DABC	07:00	01:40	08:40	4	
7TWRQ	7TWRQ	B350	DAAK	DABC	07:10	01:00	08:10	3	
DTH1518	7TVCO	DH8D	DAFH	DABC	08:00	01:00	09:00	2	
7TVAM	7TVAM	B190	DAEK	DABC	07:00	02:05	09:05	1	
DAH6168	7TVUK	AT72	DAOO	DABC	07:50	01:30	09:20	0	
7TWIG	7TWIG	IL76	DABC	DAOF	09:30			1	
7TVAM	7TVAM	B190	DAEK	DABC	07:00	02:05	09:05	1	
DAH6168	7TVUK	AT72	DAOO	DABC	07:50	01:30	09:20	0	
7TWIG	7TWIG	IL76	DABC	DAOF	09:30			1	
TVF20CQ	FHUYR	B738	LFPO	DABC	08:45	01:49	10:34	0	
DAH6256	7TVUI	AT75	DABC	DAUO	10:15			1	
DAH6169	7TVUK	AT75	DABC	DAOO	10:20			2	
7TWRQ	7TWRQ	B350	DABC	DAAV	10:30			3	
7TVAM	7TVAM	B190	DABC	DAEK	10:40			4	
DTH1967	7TVCA	B738	DAUH	DABC	09:50	00:55	10:45	3	65
DTH1968	7TVCA	B738	DABC	DAUH	10:50			4	
DTH1519	7TVCO	DH8D	DABC	DAFH	11:10			5	
DAH1427	7TVJN	B738	LFML	DABC	10:45	01:10	11:55	4	
7TVIT	7TVIT	B190	DABC	ZZZZ	11:25			5	
DAH1171	7TVJT	B736	LFSB	DABC	11:10	01:46	12:56	4	

FIGURE 27: RESULTATS DE LA SIMULATION

Après avoir simulé le même scénario dans des conditions identiques, nous avons constaté une réduction des retards en appliquant le principe du premier arrivé, premier servi. Pour assurer l'efficacité du site, nous avons également mené la même simulation en réduisant le nombre de postes disponibles à 3. Pour mieux illustrer le succès de notre application, une comparaison entre les retards résultants par

Chapitre 3

la mise en place d'une plateforme automatisée visant à résoudre le problème de saturation du parking de DABC

l'application du principe actuel et celui d'ASA sera donnée sous forme de graphique dans la figure 27 que nous avons présentée.

Vol / Principe	DAH6012	ZSEAK	DAH6190	7TVAM	7TWIG	DAH6256	TVF20CQ
Actuel	0	0	0	0.10mn	0.50mn	1h	0
ASA	0	0	0	1h40mn	0	0	0

7TWRQ	DAH6168	DTH1518	DTH1967	DAH1427	DAH1171
2h20mn	2h25mn	2h20mn	1h45	0	0
0	1h30mn	0	1h20mn	0	0

Tableau 10: tableau des retards en fonction des vols

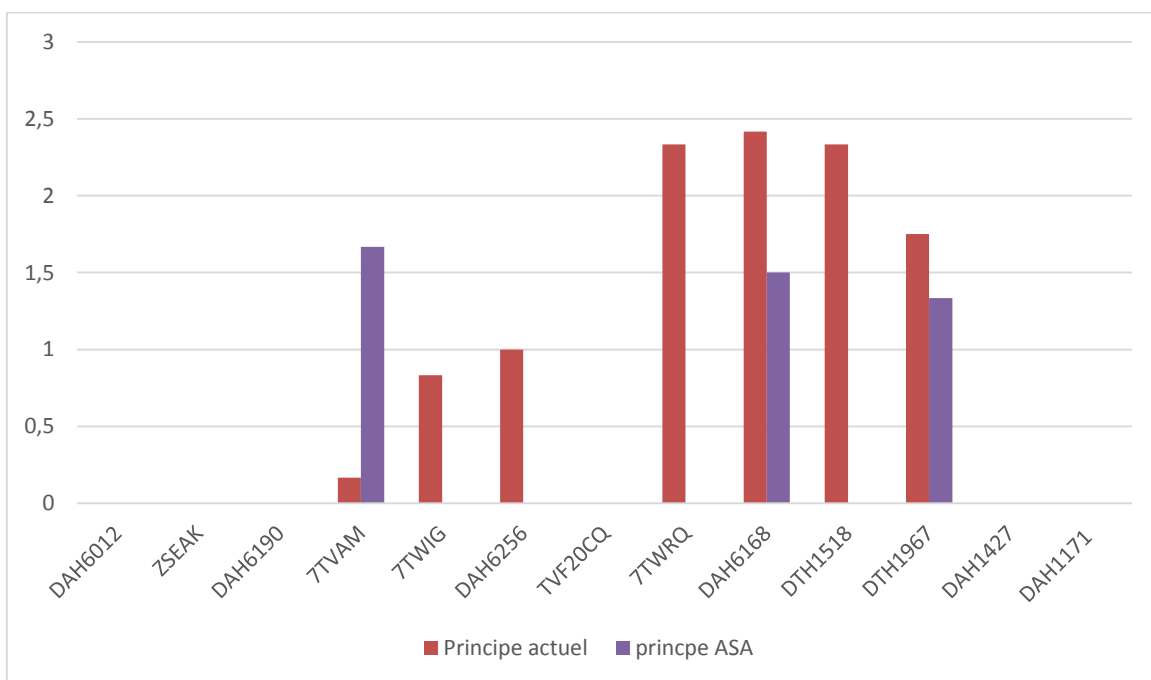


FIGURE 28: ANALYSE COMPARATIVE DES RETARDS DES VOLS

Discussion du graphique :

Ce graphique illustre les retards en fonction des vols. Le graphe en rouge représente l'application du principe du premier demandeur, premier servi, tandis que

le graphe en bleu montre l'application du principe de premier arrivé, premier servi. Nous observons une réduction des retards plus marquée avec le deuxième principe.

3.9 Conclusion

En conclusion de cette étude sur la gestion de parking de l'aérodrome de Constantine, la transition du principe du « premier demandeur, premier servi » au principe « premier arrivé à la zone de régulation, premier servi » a été réalisée avec succès.

La mise en place d'une application informatique pour automatiser cette gestion a démontré son efficacité, par une réduction significative des retards. Cela permet non seulement d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles mais aussi d'améliorer l'expérience globale des usagers de l'aérodrome.

Ce travail illustre ainsi les bénéfices de l'automatisation dans la gestion opérationnelle des infrastructures aéroportuaires notamment de l'aérodrome de DABC, pour être généralisé sur tous les aérodromes de la FIR Alger.

Conclusion générale et perspectives

3.10 Conclusion générale et perspectives

La présente étude sur la gestion du trafic aérien et la résolution de la saturation du parking à l'aérodrome de Constantine DABC illustre clairement les défis complexes, notamment en période de croissance exponentielle du trafic.

Cette étude montre que la transition d'une stratégie pénalisante pour la gestion du trafic aérien à une stratégie optimale, inspirée des pratiques de l'Eurocontrol, est essentielle pour optimiser l'utilisation des infrastructures aéroportuaires. En intégrant des outils d'automatisation et en optimisant la gestion des flux, il est possible d'augmenter la sécurité, de réduire les temps d'attente, et de garantir une régularité accrue des opérations aériennes à DABC.

En conclusion, cette étude propose des recommandations concrètes pour une meilleure gestion du trafic à l'aérodrome de Constantine, contribuant ainsi à atténuer les problèmes de saturation tout en assurant un service aéroportuaire plus efficace et durable pour les années à venir.

Perspectives futures :

Bien que notre étude ait permis de développer un algorithme prometteur pour la gestion optimisée du parking à l'aérodrome de Constantine DABC, il est important de noter que certaines fonctionnalités clés n'ont pas encore été pleinement intégrées. Nous envisageons ainsi la mise en place d'un logiciel entièrement automatisé, incluant des capacités avancées telles que l'extraction automatique des données à partir des plans de vol, l'établissement d'une adresse RSFTA dédiée complémentaire au système existant à DABC, ainsi que la mise à jour automatique et l'exécution complète de l'algorithme.

Pour concrétiser ces ambitions, l'exécution d'un algorithme et la réalisation d'un logiciel permettrait non seulement de renforcer l'efficacité opérationnelle de DABC, mais aussi d'assurer une évolutivité continue du système en réponse aux défis futurs du trafic aérien.

Conclusion générale et perspectives

En mobilisant ces ressources et en intégrant ces avancées technologiques, nous visons à transformer notre approche actuelle en une solution complète et sophistiquée, répondant aux exigences croissantes de la gestion aéroportuaire.

Annexes

Annexes

- **Service d'information sur les vols**

Le service d'information de vol est un service fourni dans le but de fournir des conseils et des informations utiles pour le déroulement sûr et efficace des vols.

(Annexe 11 de l'OACI : Services de la circulation aérienne)

Un service d'information de vol peut être fourni seul ou conjointement avec un service de contrôle de la circulation aérienne . Ce service fournit au pilote les renseignements au cours de vol

- **Recherches et Sauvetage (SAR)**

L'exercice de fonctions de surveillance de détresse, de communication, de coordination et de recherche et de sauvetage, d'assistance médicale initiale ou d'évacuation sanitaire, grâce à l'utilisation de ressources publiques et privées, y compris les aéronefs, navires et autres engins et installations coopérants.

- **Recherche**

Opération normalement coordonnée par un centre de coordination de sauvetage ou un centre secondaire de sauvetage utilisant le personnel et les installations disponibles pour localiser les personnes en détresse.

- **Sauvetage**

Opération visant à récupérer des personnes en détresse, à subvenir à leurs premiers besoins médicaux ou autres et à les amener dans un lieu sûr.

- **Service d'alerte**

Un service fourni pour informer les organisations appropriées concernant les aéronefs ayant besoin d'une aide à la recherche et au sauvetage, et pour aider ces organisations si nécessaire.

- **Un message FPL**

Est un message de plan de vol déposé seront transmis pour tous les vols ayant fait l'objet d'un plan de vol déposé afin que les aéronefs intéressés bénéficient du contrôle de la circulation aérienne, du service d'information de vol ou du service d'alerte sur tout ou partie de la route.

Annexes

- **Un message DLA**

Sera émis lorsque le départ d'un aéronef pour lequel des données de base de plan de vol (FPL ou RPL) ont été transmises est différé ou retardé de plus de 30 minutes par rapport à l'heure estimée de départ du poste de stationnement comprise dans les données de base de plan de vol.

Liste des abréviations et acronymes

DABC	Aérodrome de Constantine
DAUB	Aérodrome de Batna
DAUZ	Aérodrome de Tamanrasset
DAUH	Aérodrome de Hassi Messaoud
DAAG	Aérodrome d'Alger
DAOF	Aérodrome de Tindouf
EUROCONTROL	Organisation européenne pour la sécurité de la navigation aérienne
CASA	Computer-assisted slot allocation
FIR	Région d'information de vol
ATFM	Air Traffic Flow Management
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
ANS	Service de la navigation aérienne
ATM	Air traffic management
ATS	Air traffic service
TWR	Control tower
ASM	Air space management
CNS	Communication, navigation surveillance
AIS	Aerinautical information service
SAR	Rsearch and rescue
AO	aircraft operator
FIS	Flight information service
ENNA	Etablissement national de la navigation aérienne
CCR	Centre de contrôle régional
TMA	Terminal manoeuvring area
CTR	Control traffic zone.
CTA	Terminal control area.
RAD	Route available document.
ATFCM	Air traffic flow and capacity management.
FPL	Flight plan.
IFPZ	

Liste des abréviations et acronymes

CFMU	Central Flow Management Unit.
ADP	ATFM Daily plan.
ATC	Air Traffic Control.
NMOC	Network manager operations center.
IFPS	Integrated initial flight plan processing system.
ETFMS	Enhanced tactical flow management system.
NM	Network manager.
IFPU	Initial Flight Plan Processing Unit.
FMP/ FMU	Flow Management Position/Flow Management Unit (Position/Unité de gestion du flux).
ACC	Area Control Centre.
ETOT	Estimated Takeoff Time.
ATOT	Actual Takeoff Time.
CTOT	Calculated Takeoff Time.
EOBT	Estimated Off-Block Time.
ETA	Estimated Time of Arrival.

Références

Références

- 1- <https://www.caa.gov.rw/service-details/communication-navigation-surveillance>
- 2- (Glossaire EUROCONTROL EATM)
- 3- *OACI Doc 4444 PANS-ATM*
- 4- Règlement 549/2004 – Cadre SES
- 5- Règlement 549/2004
- 6- *OACI Doc 9854 : Concept opérationnel ATM mondial*
- 7- (Annexe 11 de l'OACI)
- 8- https://www.enaire.es/services/atm/air_traffic_services_atc/air_traffic_control_atc
- 9- https://www.enaire.es/services/atm/air_traffic_services_atc/flight_information_service_fis
- 10- <https://www.donneesmondiales.com/afrique/algerie/aeroports.php>.
- 11- Régulation court terme du trafic aérien et optimisation combinatoire Application de la méthode de génération de colonnes.
- 12- OACI DOC 9426
- 13- <https://tfmlearning.faa.gov/tfm-training/atfm-basics/cdm-t1-lesson3b.html>
- 14- <https://skybrary.aero/articles/air-traffic-flow-management-atfm>
- 15- <https://oatao.univ-toulouse.fr/7378/1/gotteland.pdf>
- 16- DECONGESTION DES SECTEURS DE CONTROLE EN ROUTE PAR LE PROCESSUS D'ALLOCATION DES CRENEAUX AUX DEPARTS
- 17- <http://leea.recherche.enac.fr/documents/RaffarinThese.pdf>
- 18- <https://www.eurocontrol.int/publication/introducing-eurocontrol-network-manager-operations-centre-nmoc>
- 19- <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travauxpublics-th3/les-amenagements-des-voies-de-transport-42550210/aerodromes-c4450/definition-et-description-c4450v2niv10001.html>
- 20- <https://di.univ-blida.dz/jspui/bitstream/123456789/2150/1/043-2015.pdf>

Références

- 21- <https://www.egsa-constantine.dz/index.php/aeroports/aeroport-de-constantine-mohamed-boudiaf>
- 22- https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/capacite_aerogare.pdf
- 23- <https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/fr/capacite-aeroportuaire/quest-ce-que-capacite-aeroportuaire>
- 24- <https://di.univ-blida.dz/jspui/bitstream/123456789/28591/1/055-2023.pdf>
- 25- https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/capaciteguide_maj.pdf
- 26- <https://di.univ-blida.dz/jspui/bitstream/123456789/2719/1/084-2012.pdf>
- 27- <https://oatao.univ-toulouse.fr/7378/1/gotteland.pdf>
- 28- <https://oatao.univ-toulouse.fr/7298/1/stoica.pdf>
- 29- <http://dspace.univ-tebessa.dz:8080/xmlui/handle/123456789/934>
- 30- Cours ATFM KHLIFAOUI-Ahcen
- 31-Annexe 12 de l'OACI