

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITÉ BLIDA 1**  
**Institut d'Aéronautique et des Études Spatiales**



# Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de master en Aéronautique

Spécialité : Navigation Aérienne

Option : Exploitation Aéronautique

# Optimisation du trafic au sol au niveau de l'aérodrome d'ALGER

**Par**

**DJEDDOU SOUFYANE – RAMOUL ABDENOUR**

**Dirigé par : Mme Hamlati Zineb**

**Mme Tsabet Amina**

Promotion 2018

*“We must use time creatively — and forever realize that the time is  
always hope to do great things”*

**— Martin Luther King Jr**

*“Nous devons utiliser le temps avec créativité — et réaliser pour  
l'éternité que le temps rime toujours avec l'espoir d'accomplir de  
grandes choses”*

## **Résumé**

Le trafic au sol est au cœur du bon déroulement des vols et surtout, à l'origine du respect des délais imposés. Aujourd'hui la recherche ne cesse d'essayer d'améliorer la gestion du trafic au sol au travers de systèmes avancés (tel que le A-SMGCS de l'OACI) pour aller vers une automatisation du domaine.

Face à autant d'opportunités de changements à apporter au niveau du contrôle au sol, l'idée de ce projet est de présenter une solution d'organisation et d'optimisation du trafic au sol à l'aéroport d'Alger, au vu de la structure et du développement actuel de celui-ci, pour un gain de temps de roulage non négligeable.

**Mots clés :** Trafic au sol, A-SMGCS, OACI, contrôle sol, temps de roulage

## **Abstract**

Ground traffic is part and parcel of the flight's smooth execution and mostly, it plays a crucial role in respecting the flight schedules. Today, research keep trying to improve ground traffic management through advanced systems (like ICAO's A-SMGCS) in order to reach an automation of the field.

With that many opportunities of change in the ground control field, this project aims at coming up with an organization and optimization solution for Algiers' aerodrome's ground traffic, given its layout and current development, in order to reduce taxiing time.

**Key words:** Ground traffic, A-SMGCS, ICAO, ground control, taxiing time

## ملخص

تشكل حركة المرور الأرضية جزءًا لا يتجزأ من التنفيذ السلس للرحلة، وهي تلعب في الغالب دورًا حاسمًا في احترام جداول الرحلات الجوية. واليوم، يستمر البحث في محاولة تحسين إدارة حركة المرور الأرضية من خلال أنظمة متقدمة (مثل نظام A-SMGCS التابع لمنظمة الطيران المدني الدولي) من أجل الوصول إلى التشغيل الآلي للحقل.

ومع وجود العديد من فرص التغيير في مجال التحكم الأرضي، يهدف هذا المشروع إلى التوصل إلى حل منظمة وتحسين لأداء حركة المرور في مطار الجزائر العاصمة، نظرًا لتصميمه وتطوره الحالي، من أجل تقليل وقت التاكسي.

الكلمات المفتاحية: حركة المرور الأرضية، A-SMGCS، منظمة الطيران المدني الدولي، التحكم الأرضي، وقت الحركة

## Remerciements

Nous aimerions exprimer une considérable reconnaissance ainsi qu'une profonde gratitude aux personnes suivantes dont l'aide, le soutien et l'orientation furent essentiels à la réalisation de ce mémoire.

Mme HAMLATI Zineb, pour sa disponibilité pour toute discussion ou préoccupation que nous avons eu au sujet de notre étude. Ses conseils précieux, ses commentaires estimables et son orientation nous a aidé à opter pour la bonne direction lors de l'identification des enjeux principaux que nous voulions mettre en avant.

Mme TSABET Amina, contrôleur au niveau de l'Aéroport International d'Alger – Houari Boumédiène, pour sa confiance et sa disponibilité sans faille lors de notre stage au niveau de la DSA (Direction de la Sécurité Aéronautique). Son dévouement nous a permis de passer le temps suffisant sur le terrain pour faire les calculs nécessaires afin de proposer des solutions adaptables à un cas pratique bel et bien réel. Nous sommes reconnaissants de son implication et sa passion qui ne l'ont pas laissée hésiter lorsqu'il s'agissait de nous fournir les informations pratiques nécessaires à notre recherche.

Nous tenons enfin à remercier nos familles et nos proches dont le soutien au fil de notre cursus académique fut sans égal. Nous remercions également chaque personne qui de près ou de loin a facilité ou inspiré la conduite de cette étude.

# Table des matières

Résumé

Remerciements

Abréviations/Acronymes

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....1

**CHAPITRE 1 : Organisation globale des plateformes aéroportuaires ..... 3**

**1.1 Organisation globale des aérodromes ..... 3**

1.1.1 L'aérodrome en chiffres ..... 3

**1.2 La structure de l'aérodrome ..... 4**

1.2.1 Aires de stationnement ..... 5

1.2.2 Aires de trafic (aprons)..... 8

1.2.3 Voies de circulation..... 9

1.2.4 Les pistes, sorties de pistes ..... 11

**2 CHAPITRE 2 : Infrastructure et caractéristiques de l'aéroport**

**International d'ALGER Houari Boumediène ..... 15**

**2.1 Infrastructures actuelles ..... 15**

2.1.1 Piste principale (05/23) ..... 16

2.1.2 Piste secondaire (09/27) ..... 16

2.1.3 Le Terminal 1 (T1)..... 17

2.1.4 Les postes de stationnement du terminal 1 ..... 18

2.1.5 Le Terminal 2 (T2)..... 19

2.1.6 Le Terminal 3 (T3)..... 19

2.1.7 Voies de circulation de l'aérodrome d'ALGER ..... 20

**2.2 Développements à venir ..... 23**

**3 CHAPITRE 3 : La gestion du trafic au sol ..... 27**

**3.1 L'importance de la gestion du trafic au sol ..... 27**

**3.2 Les incidences d'une mauvaise transmission sur le temps..... 28**

**3.3 Objectifs d'une bonne gestion du trafic au sol ..... 29**

3.3.1 Les acteurs du trafic aéroportuaire..... 29

**3.4 Les systèmes de la gestion du trafic au sol..... 32**

3.4.1 SMGCS ..... 32

3.4.2 Le système A-SMGCS ..... 33

<b>4</b>	<b>CHAPITRE 4 :Optimisation du trafic au sol au niveau de l'aéroport D'ALGER .....</b>	<b>37</b>
4.1	Paramètres utilisés.....	37
4.2	Modélisation de l'aérodrome .....	40
4.2.1	Les postes de stationnement et les taxiways existants .....	41
4.2.2	Les distances et les virages entre les taxiways : .....	42
4.2.3	Les postes nécessitant un repoussage .....	42
4.2.4	La vitesse des avions au sol.....	43
4.2.5	la vitesse moyenne utilisée dans le programme .....	43
4.3	Les étapes de la modélisation .....	46
4.4	Utilisation de l'algorithme de Dijkstra.....	47
4.4.1	Principe de fonctionnement de la méthode de dijkstra.....	49
4.4.2	Programmation de l'algorithme .....	51
4.5	Résultats .....	53
4.6	Conception de l'application .....	63
	<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>66</b>
	<b>Glossaire.....</b>	<b>68</b>
	<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>70</b>

## Liste des figures

Figure 1.1 : Représentation macroscopique globale des flux aéroportuaires.....	4
Figure 1.2 : Exemples de configurations de postes de stationnement avions.....	7
Figure 1.3 : Les zones d'apron ou aires de trafic.....	8
Figure 1.4 : Réseau de voies de circulation.....	11
Figure 1.5 : Exemples réels de configurations de systèmes de pistes d'aéroports exploitant une, deux ou plusieurs pistes sécantes .....	12
Figure 1.6 : Exemple de distances de sécurité aux abords de la piste.....	13
Figure 1.7 : Voie de sortie rapide.....	14
Figure 2.1 : Les deux pistes de l'aéroport d'Alger.....	16
Figure 2.2 : Vue aérienne du terminal 1.....	17
Figure 2.3 : Terminal 2 dédié aux vols internes.....	19
Figure 2.4 : L'infrastructure de l'aéroport Alger - Houari Boumédiène.....	22
Figure 2.5 : L'infrastructure de la nouvelle aérogare « aérogare ouest ».....	25
Figure 3.1 : Retard en entrée de piste[13].....	28
Figure 3.2 : Temps de roulage moyen.....	29
Figure 3.3 : Elément fonctionnels généraux d'un système de type A-SMGCS.....	34
Figure 4.1 : Interdépendances entre problèmes de gestion et de contrôle du trafic au sol des aéronefs.....	38
Figure 4.2 : Représentation graphique de l'aérodrome d'Alger.....	39
Figure 4.3 : Regroupement de parking réalisé sur certain postes de stationnement de l'AI HB.....	41
Figure 4.4 : Distances et virages entre les taxiways.....	42
Figure 4.5 : Les postes nécessitant un repoussage.....	42
Figure 4.6 : Pénalisation du temps de virage en fonction de l'angle.....	44
Figure 4.7 : Pénalisation du temps de repoussage .....	44
Figure 4.8 : Vitesse de roulage.....	45
Figure 4.9 : Distance entre taxiways avec AUTOCAD.....	46
Figure 4.10 : Exemple de la pénalisation du virage.....	47
Figure 4.11 : Les liaisons entre les points.....	49
Figure 4.12 : Affichage des résultats sur MATLAB.....	52
Figure 4.13 : Interface de l'application sur JAVA.....	64
Figure 4.14 : Exemple sur l'application.....	64



## Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Parking et dimensions.....	18
Tableau 2.2 : Caractéristiques des voies de circulation.....	20
Tableau 4.1 : Exemple de la matrice sur fichier EXCEL.....	47
Tableau 4.2 : Les étapes pour avoir le chemin le plus court.....	50
Tableau 4.3 : Résultats de départ de tout les points de stationnements vers les points de décollage Piste05 et Piste27.....	53
Tableau 4.4 : Résultats de départ de tout les points de stationnements vers les points de décollage Piste09 et Piste23.....	55
Tableau 4.5 : Résultats d'arrivée des points de sortie de piste 05 et 23 vers tous les points de stationnements.....	57
Tableau 4.6 : Résultats d'arrivée des points de sortie de piste 09 et 27 vers tous les points de stationnements.....	58
Tableau 4.7 : Résultats d'arrivée des points de sortie de piste F2 et E2 vers tous les points de stationnements.....	59
Tableau 4.8 : Résultats d'arrivée des points de sortie de piste D2 et D4 vers tous les points de stationnements.....	61
Tableau 4.9 : Résultats d'arrivée des points de sortie de piste J2 et J3 vers tous les points de stationnements.....	62

## Introduction générale

Le développement économique mondial tel qu'il est aujourd'hui implique une croissance de l'importance du transport aérien. Cette croissance est telle que dans les décennies qui suivent, le trafic aérien mondial pourrait se voir doubler s'il continue de suivre la tendance actuelle observée. Face à un tel développement, nous pouvons émettre des doutes quant à l'adaptation et la suffisance des structures actuelles d'opération et de contrôle du trafic aérien. Peuvent-elles suivre le rythme actuel ? La capacité en terme de flux de trafic aérien et aussi d'activités aéroportuaires sont d'ores et déjà presque atteintes en Europe, aux États-Unis et au Japon.

Ce que nous observons aujourd'hui, c'est bel et bien une saturation imminente pour de nombreux aéroports dans le monde. Ceci implique que le moindre incident, la moindre erreur de communication peut résulter en un chaos souvent irréversible ou, au minimum, en une situation extrêmement pénalisante pour tous les acteurs du transport aérien concernés.

L'aéroport International d'Alger – Houari Boumediene n'est pas en reste car il représente l'exemple parfait de la plate-forme aéroportuaire qui fonctionne à la limite de sa capacité.

Nous y évaluons aujourd'hui une croissance annuelle globale du trafic de 5% depuis sa création en 1924. Si nous n'évitons pas cette saturation qui menace l'aérodrome d'Alger, elle pourrait avoir des conséquences non négligeables en terme de sécurité, de fluidité des opérations de transport aérien et de ponctualité. Ce sont autant de risques qui vont de pair avec des incidences économiques importantes.

C'est la raison pour laquelle, depuis plusieurs années, nous observons une volonté grandissante de la part des autorités d'améliorer le trafic des avions au sol. Ce dernier est en effet l'une des causes majeures de la presque saturation des plates-formes aéroportuaires.

Il y a ainsi une véritable prise de conscience mettant en avant le fait que l'accommodation des flux de trafic futurs ne sera possible qu'au travers d'une étude du problème à la source, à savoir, l'amélioration précise des conditions actuelles du trafic au sol.

Nous pouvons poser la problématique suivante. Sachant que pour une compagnie aérienne, ainsi que pour le passager, le vol commence et se termine sur les voies de circulation de l'aérodrome, comment optimiser l'utilisation des taxiways par les avions pour gagner du temps et optimiser la consommation de carburant pour gagner en effectivité ?

Dans ce contexte, ce travail représente une étude portant sur l'optimisation des mouvements des aéronefs sur les voies de circulation. Pour cela un programme de calcul sera développé, ce programme s'appuie sur l'algorithme de Dijkstra, il aura pour but de déterminer le chemin le plus court en terme de temps, autrement dit le chemin le plus rapide.

La finalité de l'étude est de comprendre les corrélations existantes entre l'optimisation de l'utilisation des taxiways par les avions, le temps et la consommation de carburant pendant le roulage.

Le présent mémoire est donc composé de quatre parties :

Le chapitre I est un chapitre bibliographique qui présente les connaissances déjà acquises concernant le trafic aéroportuaire en général et la structure globale des aérodromes.

Le deuxième chapitre décrit l'infrastructure aéroportuaire de l'Aéroport International d'Alger Houari Boumediène.

Le chapitre 3 a pour but de définir la gestion du trafic au sol et les avancées actuelles et futures ainsi que leurs objectifs.

Le quatrième et dernier chapitre met en avant notre proposition, c'est à dire l'optimisation de la gestion du trafic au sol au sein de l'aérodrome d'Alger à travers l'utilisation de l'algorithme Dijkstra et la conception d'une interface qui permet de schématiser les résultats obtenus. Elle aura pour but d'aider les contrôleurs à prendre une décision rapide et d'obtenir un gain de temps pour chaque itinéraire de roulage possible.

Enfin, la conclusion et les perspectives de ce travail seront présentés.

# **CHAPITRE 1 : Organisation globale des plateformes aéroportuaires**

Afin de pouvoir appréhender la gestion du trafic au sol et proposer des solutions efficaces dans le but d'une optimisation de celui-ci, il est important d'acquérir une compréhension complète et globale du trafic aéroportuaire.

Dans ce premier chapitre, nous nous proposons de définir la structure globale des plateformes aéroportuaires. Nous développerons plus particulièrement les voies de circulation, les pistes et sorties de piste.

## **1.1 Organisation globale des aérodromes**

Afin d'obtenir un aéroport qui fonctionne à son efficacité maximale, tout est une question d'équilibre. Il s'agit en effet d'arriver à trouver la juste optimisation entre, d'une part, les aérogares de passagers et de fret, et d'autre part les systèmes de pistes, de postes de stationnement et les zones d'entretien des avions.

Ces différents éléments fonctionnels sont connectés grâce au réseau de voies de circulation.

Ce réseau connecteur est donc ce qu'on peut qualifier de noyau ou de support des échanges qui occurrent entre les différents sous systèmes de la plate-forme aéroportuaire. C'est la raison pour laquelle le bon fonctionnement de la plate-forme aéroportuaire est indispensable afin d'en tirer une utilisation opérationnelle optimale.

### **1.1.1 L'aérodrome en chiffres**

On compte aujourd'hui dans le monde, d'après le conseil international des aéroports (ACI) 17 678 aéroports commerciaux. Selon les mêmes sources, parmi les 200 pays reconnus par l'ONU.

Les Etats-Unis se hissent en haut de ce classement et sont le pays qui possède la plus forte densité d'aéroports au monde.

En matière de pistes, pour les avions légers, on retrouve dans les aérodromes des pistes en herbe ou en terre battue de moins de 1 000 mètres de long et de 25 à 45 mètres de

large. Afin d'accueillir les gros avions, on trouve alors des pistes en béton dépassant les 2 000 mètres de long et de 50 mètres de large.

Enfin, nous comptons 3 types d'aéroports : civil, gouvernemental ou privé.[1]

## 1.2 La structure de l'aéroport

L'aéroport est un lieu en activité et ce, en permanence. L'aspect opérationnel de celui-ci est donc à ne pas négliger car c'est le cœur du trafic au sol. Ainsi, nous étudierons d'abord les aires de stationnement, les aires de trafic, les voies de circulation et enfin, les pistes, sorties de pistes.

Le « côté piste » de l'aéroport (le « airside<sup>1</sup> ») peut être visualisé comme suit :

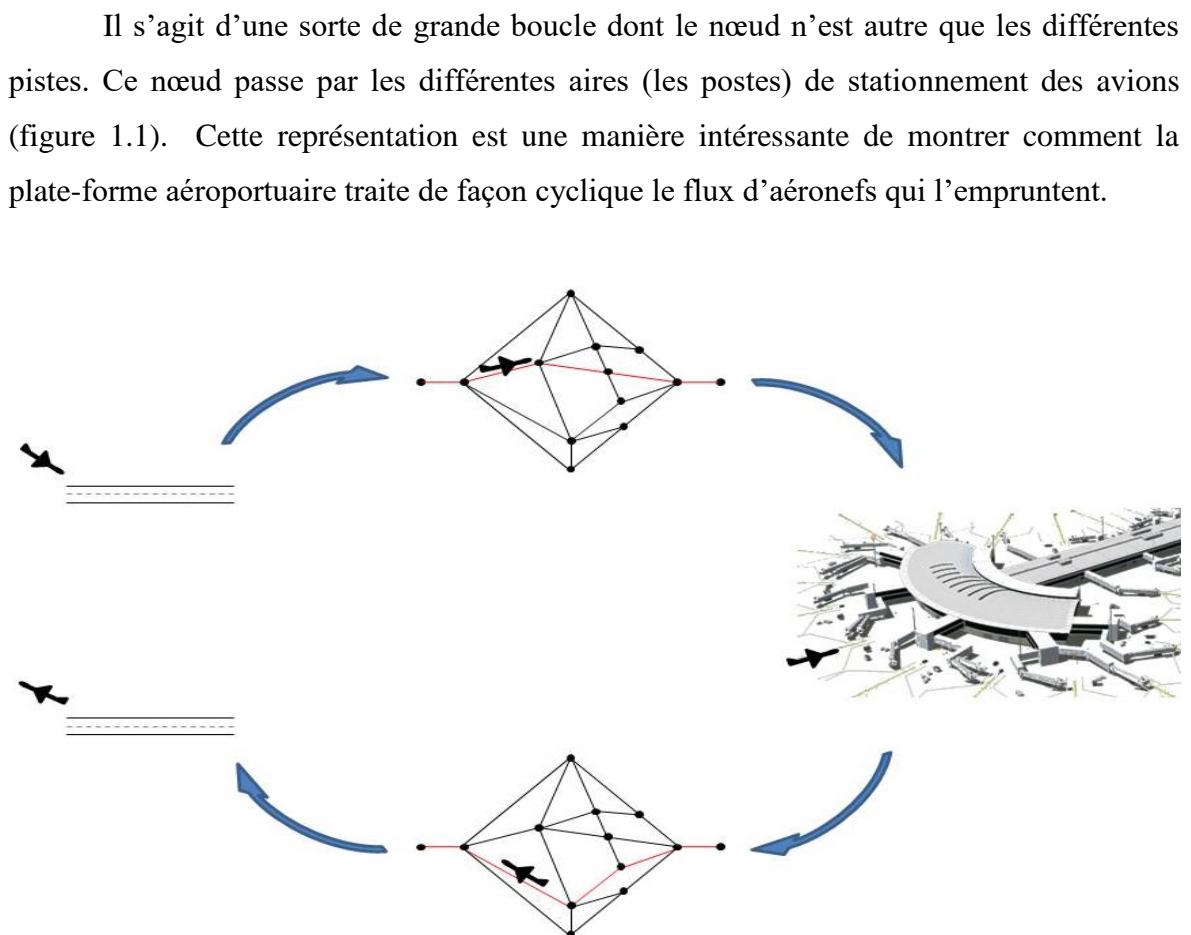


Figure 1.1 : Représentation macroscopique globale des flux aéroportuaires[2]

---

<sup>1</sup>Côté piste

Les mouvements au sol peuvent être divisés en trois catégories différentes : les arrivées, les départs et les transferts d'une poste de stationnement à un autre.

### **1.2.1 Aires de stationnement**

Les aires de stationnement sont les zones de la plate-forme aéroportuaire qui réceptionnent les avions pendant l'embarquement ou le débarquement des passagers, du fret ou de la poste lors du ravitaillement en carburant, du stationnement au repos ou de l'entretien. Il existe plusieurs types d'aires de stationnement : les aires de stationnement destinées à l'aérogare de passagers et au fret, au garage, à l'entretien, à l'aviation générale concernant cette plate-forme en question et au stationnement temporaire des avions qui sont de passage.[3]

Les aires de garage, elles, sont destinées au stationnement des aéronefs en dehors des périodes d'escale. Quant aux aires d'entretien, elles sont le lieu des différentes opérations d'entretien et de réparation. Elles ne sont cependant jamais prises en compte lorsqu'on aborde les facteurs limitatifs de la capacité d'un aéroport. En revanche, l'expérience a prouvé que les aires de trafic passagers ou fret sont passibles d'être à l'origine ou impliquées dans la saturation subie par un aéroport.

C'est là qu'interviennent les gestionnaires. Un de leurs rôles principaux est de vérifier que le nombre et la disposition des postes de stationnement est compatible avec les volumes et la nature (autrement dit, les dimensions des aéronefs) du trafic attendu, et ce, surtout pendant les heures de pointe. L'insuffisance du nombre de postes est souvent à l'origine d'une capacité limitée de l'aéroport. Cela engendre pour la plupart du temps l'utilisation de positions déportées à la fois peu confortables pour les passagers et handicapantes pour les compagnies aériennes.[3]

La capacité des voies de circulation peut également être limitée par la circulation des aéronefs sur l'aire de manœuvre. On retrouve généralement ce cas de figure dans des aéroports aux dimensions relativement petites et avec un trafic important. Dans ce type d'aéroports, les évolutions des avions stationnés en « nose-in <sup>2</sup> » peuvent gêner les

---

<sup>2</sup>Poste que l'avion ne peut quitter qu'en reculant

mouvements d'autres aéronefs en direction de leur poste ou quittant celui-ci. En heures d'affluence, ce genre de conflits connaît des répercussions immédiates. C'est là que peut intervenir la simulation au cas par cas et pas à pas des différents mouvements entrepris par les appareils susceptibles d'emprunter la zone de stationnement en question en heures de pointe. Elle permet de valider simultanément le type de stationnement et les opérations de stationnement choisies.[3]

La manière dont les zones de stationnement sont configurées est étroitement connectée au concept utilisé pour les aéroports de passagers et de fret. La figure 1.2, présentée ci-dessous montre les différents systèmes de stationnement.

Parmi les différentes configurations que l'on peut configurer, on compte :

- ✚ **Le système simple :** Il est utilisé dans les aéroports ayant un volume de trafic relativement faible. Les avions stationnent en oblique afin d'avoir la possibilité d'entrer et de sortir par leurs propres moyens. Cependant, ce système pose le problème du souffle moteur qu'il faut prendre en compte.
- ✚ **Le système linéaire :** Il peut être décrit comme une version plus évoluée, plus poussée de la configuration simple que l'on vient de définir.
- ✚ **Le système à jetées :** Il existe plusieurs variantes de ce système. Les avions ont la possibilité de stationner au nouveau des postes. Lorsqu'il y a plusieurs jetées, il est nécessaire d'aménager un espace assez grand afin d'éviter les conflits et de ne pas heurter les besoins des avions de plus grandes dimensions.
- ✚ **Le système à satellites :** Il est tel qu'il possède des unités satellites séparées de l'aérogare. Ces unités sont entourées de postes de stationnement d'avions. L'accès passagers a lieu par un passage souterrain ou surélevé. Cependant, une telle conception est problématique quant à la difficulté de son adaptabilité aux développements ultérieurs.
- ✚ **Le système à transbordement :** Appelé également système déporté, est le système le plus adapté pour les opérations des avions. Cependant, il implique le transport des passagers, équipages, bagages et fret sur des

longues distances ou sur des parcours congestionnés, occasionnant ainsi des retards supplémentaires.

✚ **Le système hybride** : Ce système est, comme son nom l'indique, une combinaison de deux ou plusieurs des systèmes abordés ci-dessus. C'est généralement le cas de figure que l'on retrouve le plus souvent dans les grands aéroports.[3]

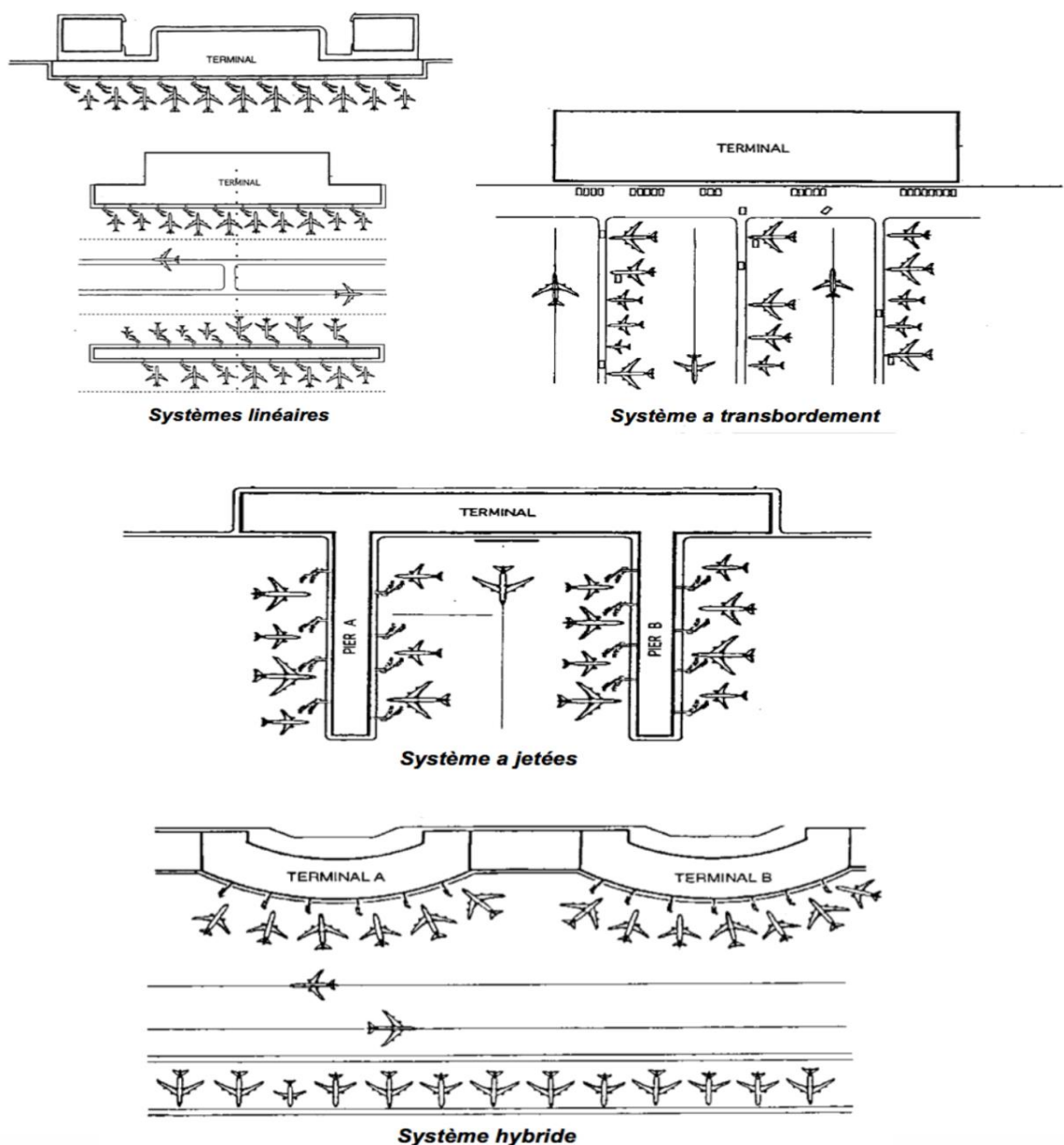


Figure 1.2 : Exemples de configurations de postes de stationnement avions[4]



### 1.2.2 Aires de trafic (aprons)

Les aires de trafic que l'on appelle également aprons ne sont autres que les lieux où les postes de stationnement sont reliés aux voies de circulations (parfois, les voies de circulations sont comprises dans les aprons). Dans certains aéroports, en fonction de leur architecture et des dispositions infrastructurelles, cette zone peut être tout simplement absente. Un exemple type d'utilisation d'aprons est celui des postes de stationnement possédant un système à jetées. Une telle zone ne peut accueillir deux avions circulants en sens opposé, c'est pourquoi certaines dispositions doivent être prises pour restreindre la circulation. Ainsi, la plupart du temps, afin d'éviter les conflits, l'avion n'ayant pas la priorité se doit d'attendre sur la voie de circulation pour laisser l'avion prioritaire emprunter la zone de trafic et donc passer. La zone d'apron peut être schématisée comme suit : elle est un tampon entre les postes de stationnement et les voies de circulation. L'apron s'avère également utile au moment du repoussage des avions car il évite l'arrêt de la circulation sur les voies de circulation voisines.[3]

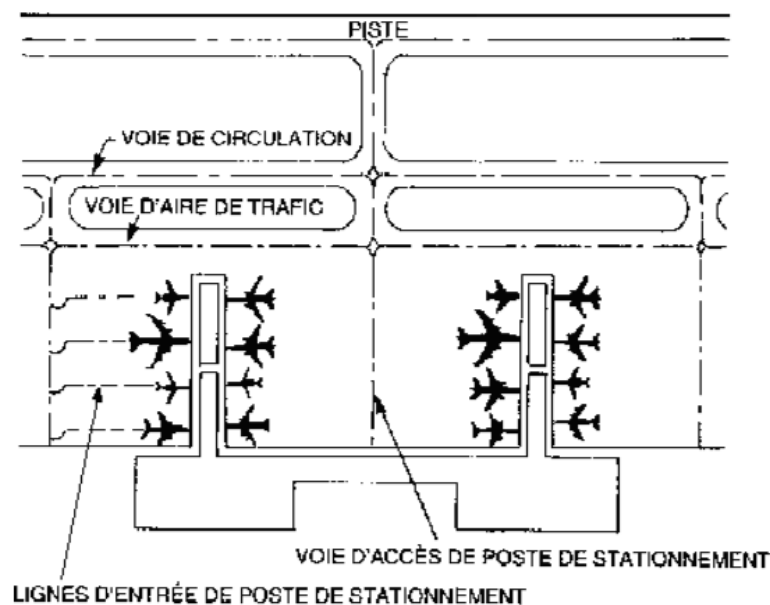


Figure 1.3 : Les zones d'apron ou aires de trafic[5]

### 1.2.3 Voies de circulation

On appelle voies de circulations les voies délimitées où les appareils se déplacent entre les parkings et les pistes. Elles sont généralement faites en bitume ou alors de plaques de béton. On les distingue notamment grâce à une signalisation de couleur jaune (avec des lumières bleues) pour bien les distinguer des pistes qui, elles, sont balisées de blanc.

Globalement, on observe continuellement que les voies de circulation peuvent s'avérer être un point majeur pour la capacité d'un système aéroportuaire. Lorsque le trafic est important, le manque de voies de circulation ou la configuration complexe du réseau de voies de circulation peut entraîner les situations suivantes :

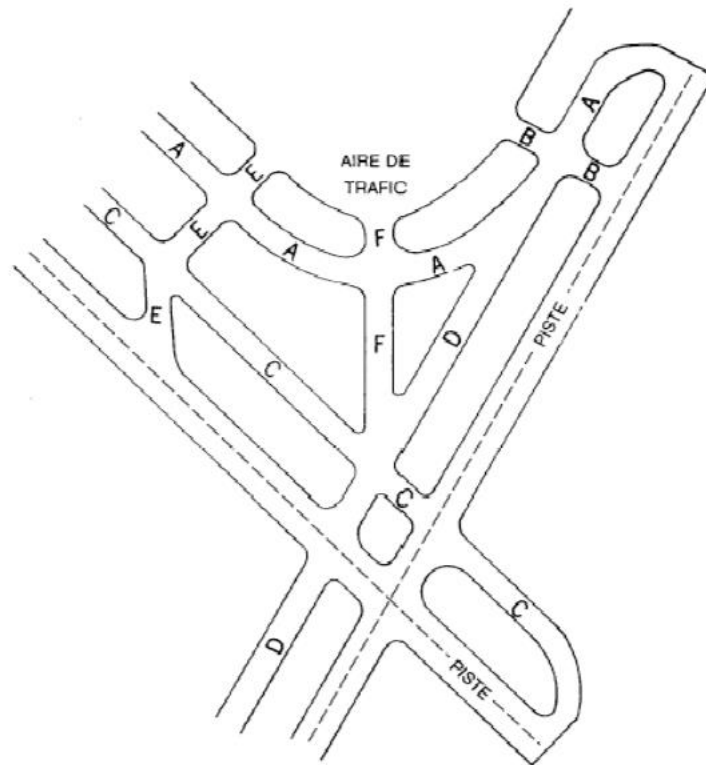
- ✚ Les aéroports démunis de voie de circulation parallèle et uni pistes ne possèdent qu'une seule entrée qui fait office de sortie. La voie de circulation reliant la piste aux installations terminales est donc unique. Ainsi, lorsqu'un décollage suit un atterrissage, on peut observer des blocages. Le retard induit peut donc facilement être mesuré. Il correspond tout simplement au temps de parcours de cette voie unique, temps utilisé que pour que cette voie soit dégagée.
- ✚ Les aéroports à plusieurs pistes ont, eux, ce qu'on qualifie de réseau complexe de voies de circulation. Une telle configuration signifie que les traversées des pistes sont multiples et que les croisements de voies de circulation le sont aussi. La piste est donc traversée soit par les appareils qui rejoignent leur piste de décollage soit par ceux qui viennent d'atterrir. C'est donc logiquement au niveau des croisements de voies que l'on observe des conflits entre les avions à l'arrivée et au départ.

La conception du réseau de voies de circulation suit quelques principes que l'on peut citer :

- Les divers éléments de la plate-forme doivent être reliés de manière à ce que le système des voies de circulation global soit le plus court possible. Ceci est important car c'est la manière de laquelle nous pouvons réduire la durée de circulation au sol et, fatalement, les coûts incombés par le roulage sur les voies de circulation.

- Le système des voies de circulation doit être le plus simple possible pour simplifier les instructions données par les contrôleurs du trafic et pour faciliter la tâche des pilotes,
- Emprunter des tracés directs (rectilignes) est essentiel pour limiter au maximum les manœuvres compliquées et à faibles vitesses des avions,
- Il est préférable d'éviter aussi souvent que possible les intersections de pistes et de voies de circulations pour plus de sécurité et pour éviter tout retard sur les voies de circulations pouvant être provoqués par les conflits ou la formation de files d'attentes,
- L'utilisation le plus souvent de segments à sens unique dans les itinéraires de voies de circulation est préférable car elle permet de réduire les conflits avec d'autres appareils et, inéluctablement, les retards correspondants. Il est donc envisageable d'analyser les écoulements sur les segments pour chaque configuration utilisée par la ou les pistes.

Cependant, la réalité économique rattrape les aéroports qui se voient obligées de limiter les niveaux d'investissement à une amélioration de la capacité requise à court terme. Ceci ne laisse donc pas une grande marge de développement des réseaux de voies de circulation. Cependant, une bonne appréhension de l'ensemble peut permettre une introduction progressive des éléments additionnels en fonction de la hausse de la demande. Un exemple d'un système des voies de circulation au sol est présenté en figure 1.4.[4]



**Figure 1.4 : Réseau de voies de circulation[4]**

Tous ces systèmes de voies de circulation doivent être bien visibles pour être effectifs. La réglementation internationale impose aux autorités aéroportuaires de signaler et marquer les voies de circulation. Elles sont donc strictement signalisées de manières différentes selon les aéroports. On compte les panneaux lumineux, les balises lumineuses, les panneaux réfléchissants, les barres d'arrêts, les éclairages et encore d'autres systèmes mobiles. Le marquage est établi avec de la peinture réfléchissante, il peut être axial ou transversal.[4]

## **1.2.4 Les pistes, sorties de pistes**

### **1.2.4.1 Les pistes**

La partie majeure d'un aéroport n'est autre que le système des pistes. Les pistes ont une importance non négligeable et leur planification doit toujours être établie en fonction de la direction des vents, des prévisions de la demande de trafic, des riverains, de l'implantation telle qu'elle est future ou encore des conditions géologiques, et plus encore.

Les pistes et les voies de circulation doivent être intégrées de la sorte :

- Pour simplifier la mise en œuvre de la capacité maximale du système des pistes,
- Pour fluidifier la gestion et décongestionner le trafic sol,
- Pour offrir des chemins directs et courts conduisant aux autres différents sous systèmes de l'aérodrome,
- Pour simplifier le dégagement de la piste lors de l'atterrissage,
- Pour éviter tout croisement entre les voies de circulation et les pistes actives.[4]

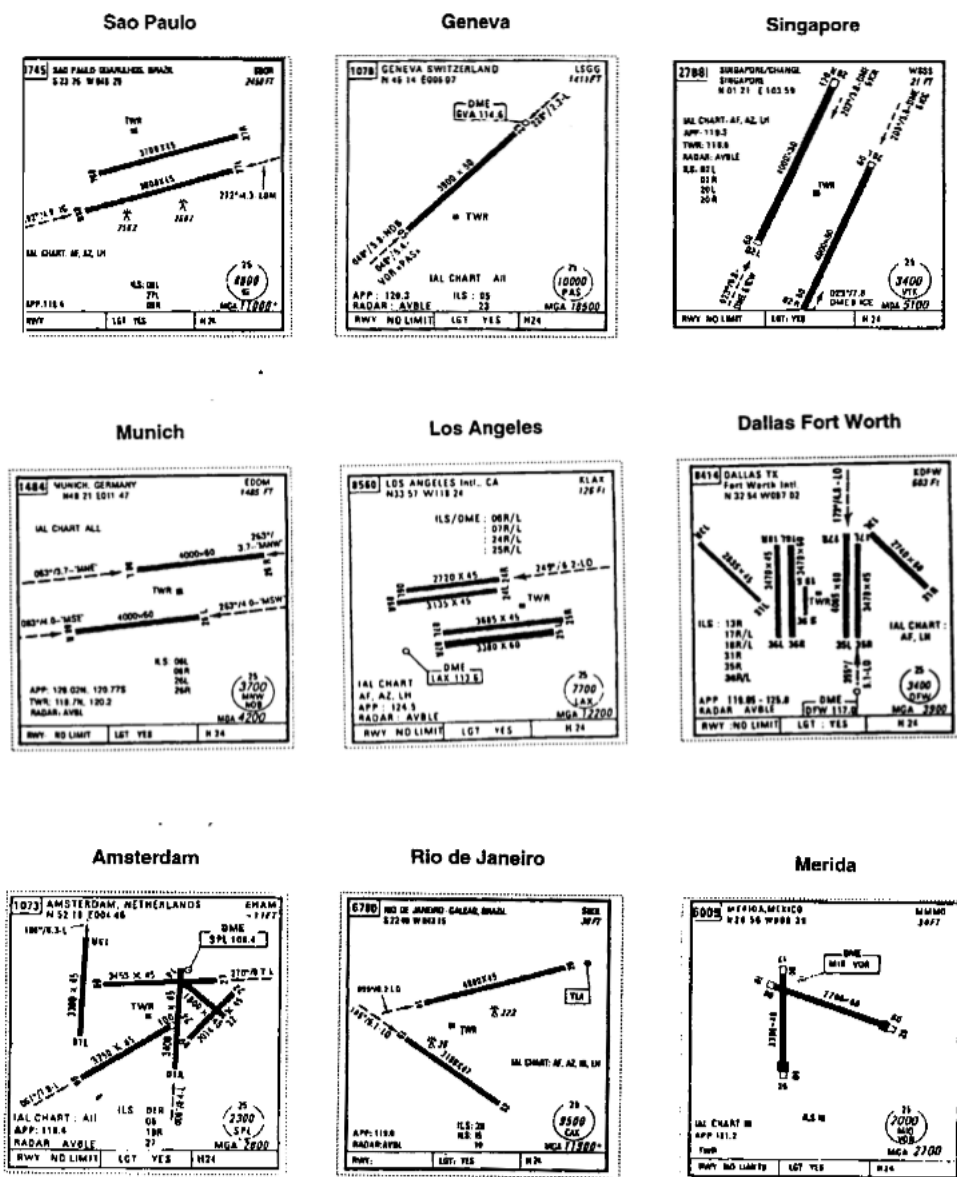


Figure 1.5 : Exemples réels de configurations de systèmes de pistes d'aéroports exploitant une, deux ou plusieurs pistes sécantes[4]

### 1.2.4.2 Les sorties de pistes

On appelle sorties de pistes l'aménagement au niveau des arrivées qui vise à permettre aux avions de dégager la piste en toute sécurité et en un temps minimum. On peut distinguer les sorties normales des sorties rapides selon la vitesse à laquelle les aéronefs empruntent celles-ci.

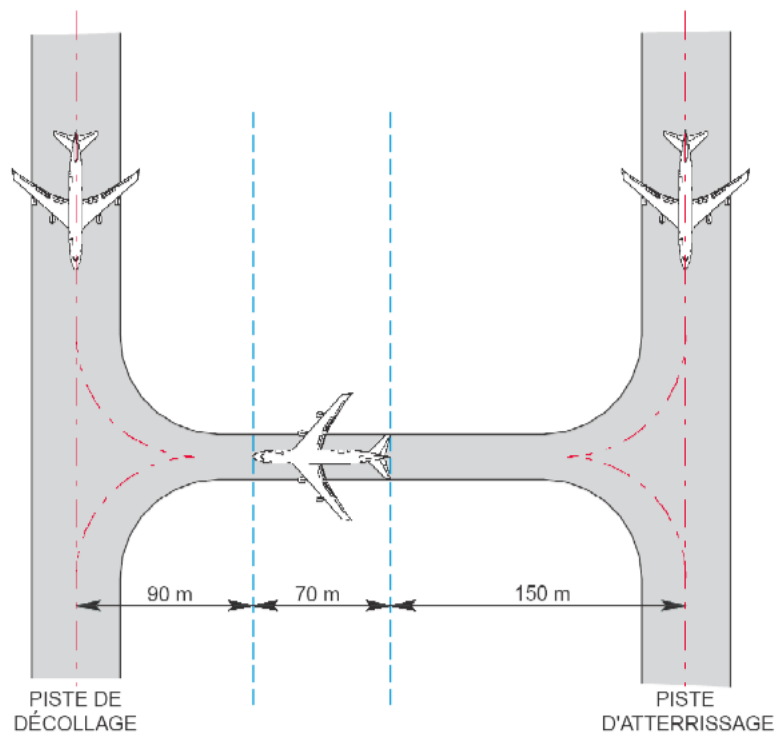


Figure 1.6 : Exemple de distances de sécurité aux abords de la piste[4]

On appelle voie de sortie rapide toute voie de circulation rattachée à une piste selon un angle aigu. Une telle voie de circulation est conçue de manière à ce que l'avion qui y atterrit puisse dégager la piste en question à une vitesse supérieure à celle autorisée par les autres voies de sortie. Ainsi, le temps d'occupation de la piste est moindre. Sur une sortie rapide, on observe des vitesses comprises entre 35 nœuds, soit 65 km/h, et 50 nœuds (93 km/h). Dans les aéroports à faible demande de trafic (moins de 25 mouvements par heure), par souci d'économie, on utilise plus souvent les sorties droites.[4]

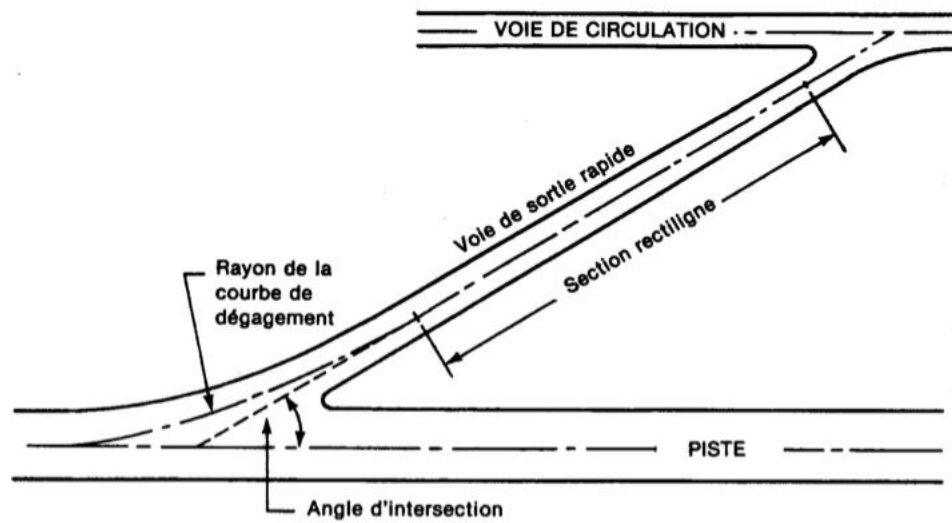


Figure 1.7 : Voie de sortie rapide[4]

## Conclusion

Dans cette première partie du mémoire, nous avons détaillé l'infrastructure globale des aéroports en général, ce qui nous a permis de conclure que les plateformes d'attente et autres déviations ont pour but : D'exécuter des dépassements contrôlés entre avions ; De donner un point fixe, et d'autres fonctions qui ont bien été détaillé sur chacune des zones.

## **CHAPITRE 2 : Infrastructure et caractéristiques de l'aéroport International d'ALGER Houari Boumediène**

Ce chapitre concerne l'étude de l'aéroport Houari Boumediène d'Alger. En effet, nous aborderons les infrastructures actuelles de celui-ci telles que la configuration des pistes, les parkings de stationnement et les voies de circulation. Nous mettrons en avant par la suite les développements à venir dans cet aéroport dans la mesure où ils représentent une opportunité de développement de gestion de trafic au sol.

### **2.1 Infrastructures actuelles**

L'Aéroport International d'Alger – Houari Boumediène est le berceau d'un trafic actuel avoisinant les 50 000 à 60 000 mouvements d'avions par an.

Sa capacité humaine globale (passagers) atteint les 10 millions. Ils sont répartis de la façon suivante : 6 millions sont des passagers empruntant les lignes internationales, 2,5 millions sont des voyageurs domestiques et enfin, 1,5 million de passagers voyagent à bord de charters ou sont des pèlerins. Un tel flux humain place l'aéroport de la capitale Algérienne au rang de quatrième terminal africain, derrière l'aéroport de Johannesburg (18 Millions de passagers), de Casablanca (16,4 Millions) et l'Aéroport International du Caire (16 Millions).

L'aéroport compte deux pistes ainsi qu'une unique tour de contrôle.[6]

En ce qui concerne l'aéroport International d'Alger, il possède deux pistes : une principale (05/23) et l'autre secondaire (09/27) :



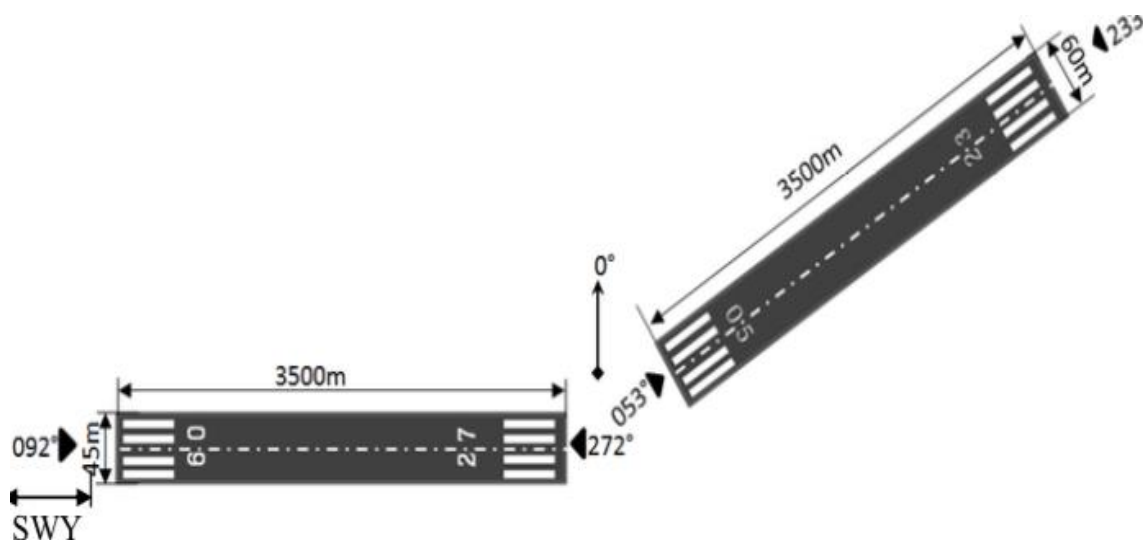


Figure 2.1 : les deux pistes de l'aéroport d'Alger[6]

### 2.1.1 Piste principale (05/23)

C'est la piste principale et la plus fréquentée, elle est caractérisée par :

- Dimensions : 3500 m x 60 m.
- Résistance (PCN) et revêtement de la piste : 75 F/D/W/T Béton bitumineux.
- Dimensions de la bande : 3620 m x 300 m.
- Pente de la piste : 0,09%.
- Altitude du seuil :
  - RWY 05 : 22 m.
  - RWY 23 : 25m.

La piste 23 est une piste d'approche de précision. Elle est desservie par un ILS de catégorie II qui assure le guidage depuis la limite de couverture de l'installation jusqu'à la surface de la piste et le long de cette surface.

### 2.1.2 Piste secondaire (09/27)

Elle se caractérise par :

- Dimensions : 3500 m x 45 m.
- Résistance (PCN) et revêtement de la piste : 78 F/D/W/T Asphalte.
- Altitude du seuil :
  - RWY09 :17m.
  - RWY 27 : 20 m

La piste 09 est desservie par un ILS de catégorie I. Elle est destinée à l'approche avec une hauteur de décision au moins égale à 60 m (200 ft) et une visibilité au moins égale à 800 m ou une portée visuelle de piste au moins égale à 550 m.

L'aéroport d'Alger dispose de deux terminaux principaux (T1 et T2) : un pour les vols domestiques et l'autre pour les vols internationaux. Il compte également un troisième terminal (T3) pour les vols charters, tous destinés à accueillir les passagers de l'aéroport.

### **2.1.3 Le Terminal 1 (T1)**

Destiné aux vols internationaux, sa capacité d'accueil est de 6 millions de passagers par an. Son inauguration officielle eut lieu le 5 Juillet 2006.

Ce terminal met à disposition des passagers et usagers toutes les commodités et les services modernes pour répondre le mieux possible à leurs attentes. Il possède 64 banques d'enregistrement ainsi qu'un total de 18 portes d'embarquement.



**Figure2.2 : vue aérienne du terminal 1[7]**

Le T1 s'étend sur une surface de 82 000 m<sup>2</sup> en plus d'être équipé de deux halls :

Hall 1 : Destinations desservies par la compagnie nationale, Air Algérie.

Hall 2 : Destinations desservies par des compagnies internationales telle que : Air France, Aigle Azur, Emirates, Qatar Airways...

## 2.1.4 Les postes de stationnement du terminal 1

La construction du terminal fut entreprise selon le respect des normes internationales les plus récentes, le plaçant ainsi au rang d'un des aéroports les plus modernes du continent Africain. A titre d'exemple, il possède un nombre de 12 passerelles télescopiques permettant de débarquement directement de l'avion vers le terminal et vice versa.

Le tableau ci-dessous comprend les différents parkings, leurs dimensions ainsi que le nombre de postes de stationnements de l'aéroport d'Alger sans le nouveau terminal, il comporte :

- 09 postes de stationnement pour le P1;
- 03 postes pour le P2 (02 postes B747 et un poste A300);
- 04 postes pour le P4 (03 postes A300 et un poste B727);
- 12 postes de stationnement dans le P5;
- 03 postes dans le P7 fret (02 postes B737 et un poste C130);
- Le P8 est pour les avions léger et ce n'est pas numéroté;
- 05 postes de stationnement pour le P9 ( ATR 42/72);
- 12 ou 14 postes sur le P10;
- finalement, un poste sur le P11.

**Tableau 2.1 : Parking et dimensions[8]**

<b>Parking</b>	<b>Dimensions</b>	<b>Nombre de postes</b>
P1 central Asphalte	640 x 100	9 postes B737 C1 à C9
P2 gros porteurs Dalles de béton	350 x 130	02 postes B747 01 poste A300 S6 à S8
P4 moyens porteurs Dalles de béton	350 x 100	03 postes A300 01 poste B727 S9 à S12
P5 (GLAM) Asphalte	770 x 130	12 postes A319 2 postes Hélico E
P7 fret	190 x 125	2 postes B737 1 poste C130 N1 à N3

P8 asphalte (DTH)	280 x 110	Aviation légère Non numérotés
P9 aviation d'affaires	200 x 80	5 postes ATR42/72 S1 à S5
P10 dalles en béton	613 x 384	12 ou 14 postes au contact W1 à W12
P11 salon d'honneur (structure semi rigide béton + béton bitume)	163 x 63	1 poste

### 2.1.5 Le Terminal 2 (T2)

Sur une surface de 20 886 m<sup>2</sup> dédiés aux vols internes, ce terminal, rénové en 2007, peut accueillir près de 2,5 millions de passagers par an. Les conditions de confort et de sécurité dont il dispose sont comparables à celles du T1 avec ses 20 banques d'enregistrement et ses 7 portes d'embarquement.[6]



**Figure2.3 : Terminal 2 dédié aux vols internes**

Il faut noter que pour les vols domestiques, les passagers sont transportés de l'aide de bus de la porte d'embarquement au tarmac et vice versa.

### 2.1.6 Le Terminal 3 (T3)

Après que l'ancienne aérogare nationale ait subi un réaménagement, un nouveau terminal a vu le jour : le T3, destiné aux vols de pèlerinage et aux vols charters. Sa capacité d'accueil atteint le million de passagers par an pour une surface de 11 088 m<sup>2</sup>. Il dispose de 6 banques d'enregistrement et 3 portes d'embarquement.

L'aéroport international d'Alger est également doté d'un « pavillon d'honneur » destiné à la réception de Chefs d'États et autres hauts responsables politiques de tous pays en déplacement.

### 2.1.7 Voies de circulation de l'aérodrome d'ALGER

Les pistes sont non seulement connectées entre elles mais également aux aires de stationnement par des taxiways destinés aux avions et parfois par des voies de services plus petites réservées aux véhicules de service et de secours (pompiers etc). Dans le cas de figure où un aéroport possède des dimensions qui nécessitent que le chemin entre les pistes et le parking suive un itinéraire précis, on peut avoir recours à un véhicule spécial (dit follow-me<sup>3</sup>) qui viendra précéder l'avion pour le guider.

Le tableau suivant montre les caractéristiques des voies de circulation de l'aérodrome ainsi que les identifications et ces dernières ont été changé et remplacées par d'autre identifications.

**Tableau 2.2 : Caractéristiques des voies de circulation[8]**

Identification des voies	Longueur (m)	Largeur (m)
A.1	270	25
A.2	160	25
A.3	160	25
A.4	390	25
A.5	2.350	25
A.6	275	25
A.7	80	25
A.8	430	25
A.9	163	25
B.1	390	25
B.2	250	25
B.3	145	25
B.4	150	25
B.5	250	25
B.6	270	25

<sup>3</sup> « Suis moi »

C.1	150	25
C.2	385	25
C.3	270	25
C.4	160	25
C.5	380	25
D.1	760	25
D.2	285	25
D.3	310	25
D.4 (SGV)	520	25
E.1	715	25
E.2	285	25
E.3	310	25
F.1	750	25
F.2	285	25
G	1.200	25
H.1	90	25
H.2	485	25
H.3	300	25
H.4 (SGV)	280	25
H.5	284	25
I.1	1600	25
I.2	170	25
I.3	120	34
I.4	140	34

Dans la figure 2.4, nous pouvons observer l'infrastructure de l'aérodrome d'Alger composée de plusieurs parkings, taxiways avec leurs appellations, voies de circulation, 2 terminaux, postes de stationnement, les deux pistes la 05/23 et la 09/27, les sorites de pistes, ainsi que les liaisons entre taxiways, comme nous pouvons voir aussi dans les deux tableaux des aires de trafic: l'identification des parking, la nature de surface et le poste de stationnement;

Par exemple: P1 est en asphalte sur les 09 postes pour des B727 P2 : gros porteur, il est en béton bitumineux et avec 02 postes pour le B747 et 01 poste pour le A300.

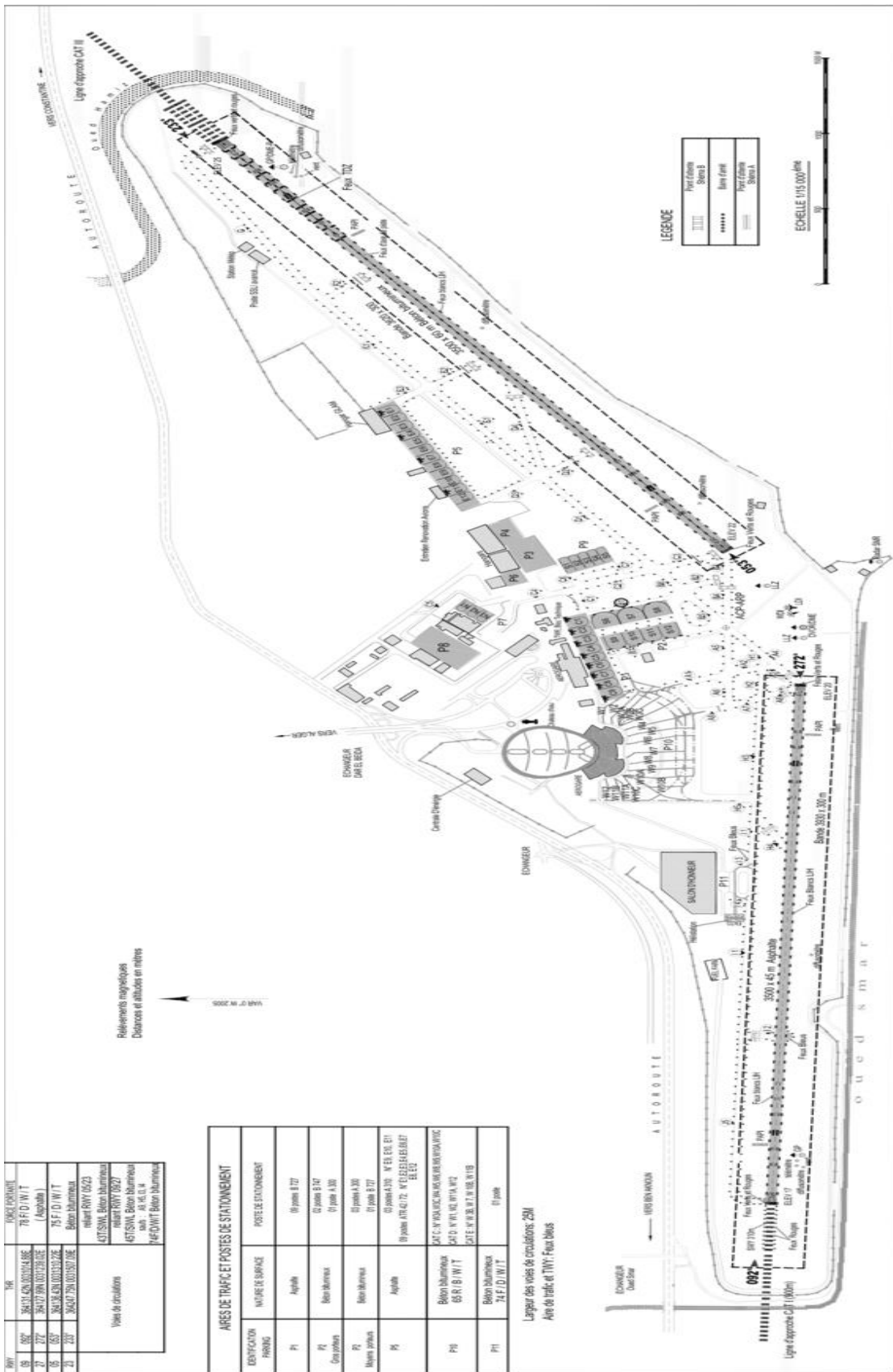


Figure 2.4 : L'infrastructure de l'aéroport Alger - Houari Boumediène[9]

## 2.2 Développements à venir

Avant d'entamer tout projet, la Société de Gestion des Services et Infrastructures Aéroportuaires d'Alger (communément appelée SGSIA) prend en compte les enjeux impliqués par la croissance importante de la demande mondiale en terme de transport aérien. C'est donc une véritable opportunité qui s'est dessinée pour la SGSIA pour qui désormais la création d'une aérogare de type "hub"<sup>4</sup> dédiée à la compagnie nationale Air Algérie est plus qu'envisageable : elle est réalisable. De plus, la mise en place progressive de la politique de « l'Open sky<sup>5</sup> » entre les pays, le développement des fusions entre les compagnies aériennes, l'émergence future de compagnies charters en Algérie et la mise en exploitation d'une nouvelle génération de gros porteurs sont autant de raisons qui confortent la SGSIA dans sa décision d'apporter des développements à l'Aéroport International de la capitale Algérienne.[10]

Les différents projets entamés et envisagés sont :

- ✚ La réalisation d'une aérogare pour les passagers prévue pour 2018 (elle sera opérationnelle). L'aérogare sera dotée d'un unique poste pour très gros porteur tels que l'Airbus A380. Un projet d'une telle envergure s'étend sur 5 hectares, situés entre l'actuel salon d'honneur présidentiel et le terminal international.
- ✚ Un parking pour les avions, et un parking de stationnement pour les véhicules d'une capacité avoisinant au moins 4 000 places.
- ✚ L'étude de l'aménagement d'une nouvelle zone de fret appelé "Village Cargo" et l'évaluation du marché potentiel. Ce projet vise à mieux organiser et stimuler l'activité du fret en Algérie.
- ✚ Le réaménagement des parkings de stationnement automobile dans le but d'augmenter le nombre de place, de fluidifier la circulation des véhicules et d'optimiser les recettes potentielles au travers d'un nouveau système de paiement à la sortie des parkings.

---

<sup>4</sup> Plate-forme de correspondance aéroportuaire

<sup>5</sup> Ciel ouvert



- ✚ La mise en place d'un quai réservé aux taxis à l'intérieur de l'aéroport. Ce quai sera destiné aux chauffeurs de taxis conventionnés avec l'aéroport d'Alger.
  
- ✚ Les travaux visant à réaliser une ligne ferroviaire reliant le quartier de Bab-Ezzouar à l'Aéroport International d'Alger – Houari Boumédiène – sur une distance totale de 2,8 km (dont 1,4 km souterrains). Cette nouvelle ligne aura pour but de mieux desservir les deux terminaux (national et international) de l'aéroport et également d'apporter une autre solution aux voyageurs quittant l'aéroport pour rejoindre les différentes villes connectées au réseau ferroviaire national.
  
- ✚ D'autres nouvelles pistes sont prévues à plus long terme (2050)
  
- ✚ Il est attendu que l'extension de l'aérogare assure un trafic de 10 millions de passagers par an.[10]

La figure 2.5 qui suit représente l'infrastructure globale avec une vue de haut de la l'agrandissement et la construction du nouveau terminal à l'ouest avec ses différents postes de stationnement, parkings et voies de circulation.

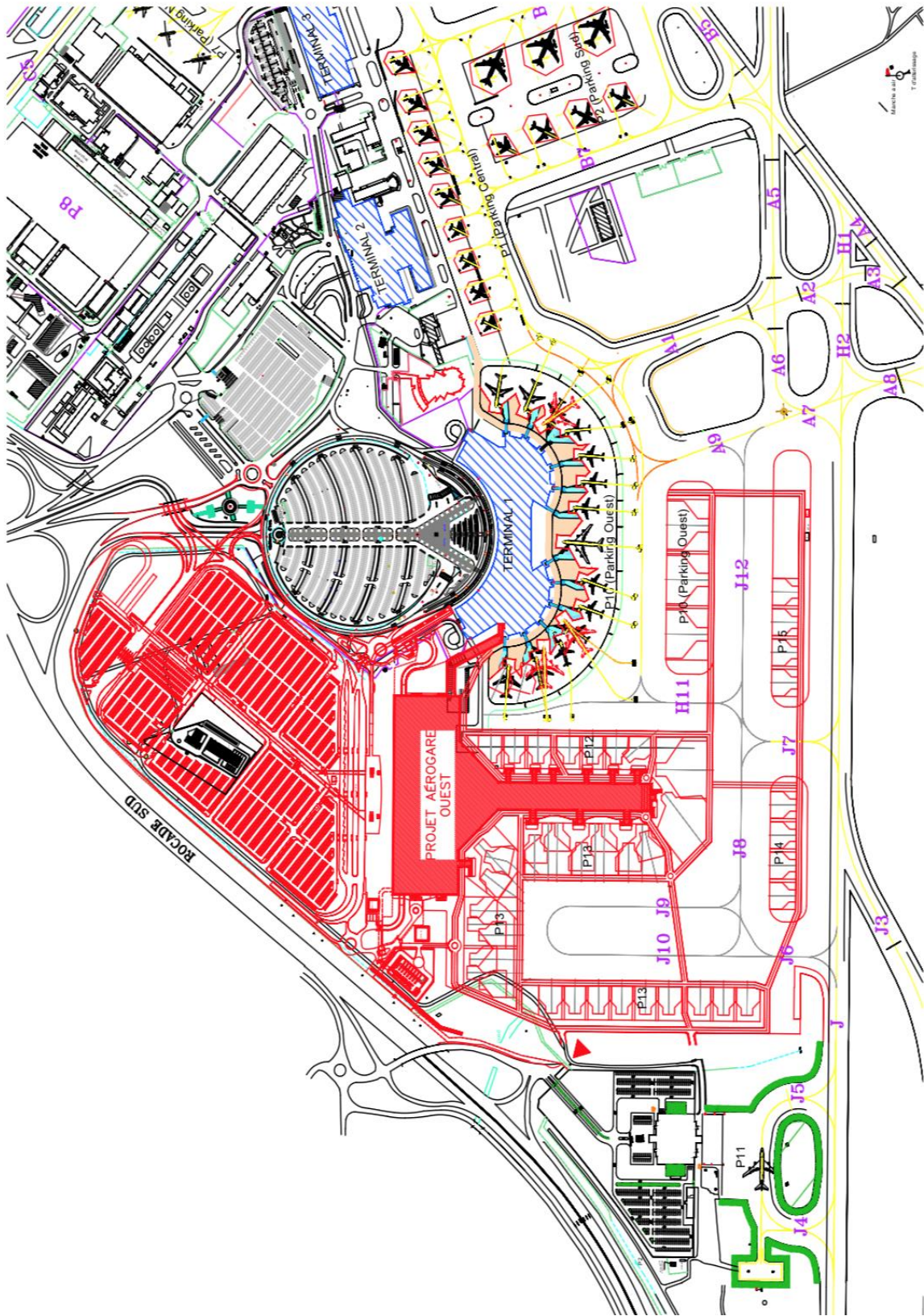


Figure 2.5 : L'infrastructure de la nouvelle aéroport « aéroport ouest »[11]

## Conclusion

Ce chapitre a présenté dans sa totalité les différentes infrastructures, zones, parkings et taxiways de l'aéroport International d' Alger Houari Boumediène dans lequel notre travail a été effectué.

Ce qui nous a permis de tirer les conclusions suivantes : l'aérodrome est une structure complexe, la plate-forme aéroportuaire est différente dans chaque cas, la gestion du trafic au sol est aussi complexe et son optimisation ne peut complètement omettre l'intervenant humain (le contrôleur, ici), ce qui l'a rend primordiale en matière de sécurité, confort et profitabilité.

Suite à de nombreuses visites à l'aérodrome d'Alger et aux discussions que nous avons eues avec les contrôleurs sur place et les services de la Direction de la Sécurité Aéronautique (DSA), nous avons pu établir une problématique intéressante et pragmatique : comment s'organise le trafic au sol dans les aéro-gares et dans quelle mesure nous pouvons l'optimiser ? Comment pouvons nous gagner de précieuses minutes lors des déplacements au sol de l'appareil ? C'est ce que nous allons aborder dans les deux prochains chapitres.

Pour ce faire, le processus de la réalisation et d'écriture de ce mémoire a commencé en Mars 2018, tout en se faisant aider par la DSA qui a donné les informations nécessaires pour réaliser ce modeste projet.

## CHAPITRE 3 : La gestion du trafic au sol

L'objectif principal de ce chapitre est de cerner l'importance du trafic au sol, le rôle des différents acteurs du trafic aéroportuaire dans la gestion et l'utilisation des plateformes aéroportuaires sera abordé. Nous aborderons aussi les systèmes les plus importants dans la gestion du trafic au sol est principalement le A-SMGCS et ses différents éléments.

### 3.1 L'importance de la gestion du trafic au sol

Chaque jour, un avion court ou moyen-courrier passe jusqu'à 2 h 30 sur les taxiways, les voies de circulation entre les pistes et les portes d'embarquement.[12]

Par exemple :

- ✚ un Airbus A320 consomme dans ces conditions 600 kg de kérosène par heure (soit 750 L) ;
- ✚ Un Boeing 747 consomme une tonne de kérosène (1.250 litres) pour un roulage de 17 minutes avant le décollage. [12]
- ✚ A Amsterdam, plateforme de correspondances de sa consœur néerlandaise KLM, l'une des pistes est très éloignée de l'aéroport. Le roulage peut ainsi durer 40 minutes. [13]
- ✚ «Le temps de roulage peut être très long, de 20 à 30 minutes», confirme Bruno Delile, directeur de la flotte du groupe Air France. «Particulièrement à Roissy», hub de la compagnie française. [13]

D'après les exemples cités, les industriels affirment que la durée de vie des moteurs sera également augmentée car les dommages causés par l'aspiration de particules au sol seront évités. Les freins seront par ailleurs moins sollicités.[13]

### 3.2 Les incidences d'une mauvaise transmission sur le temps

Une mauvaise communication, une mauvaise utilisation et optimisation des différentes pistes, voies de circulation ou encore une faible appréhension de l'agencement de ces dernières sont autant de causes qui influent directement sur le nombre d'avions qu'il est possible de traiter et donc sur la capacité. Ainsi sont donc observés des retards en entrée de piste comme le démontre la figure suivante tirée d'un rapport émis par le Service Technique de l'Aviation Civile Français (DGAC STAC).[14]

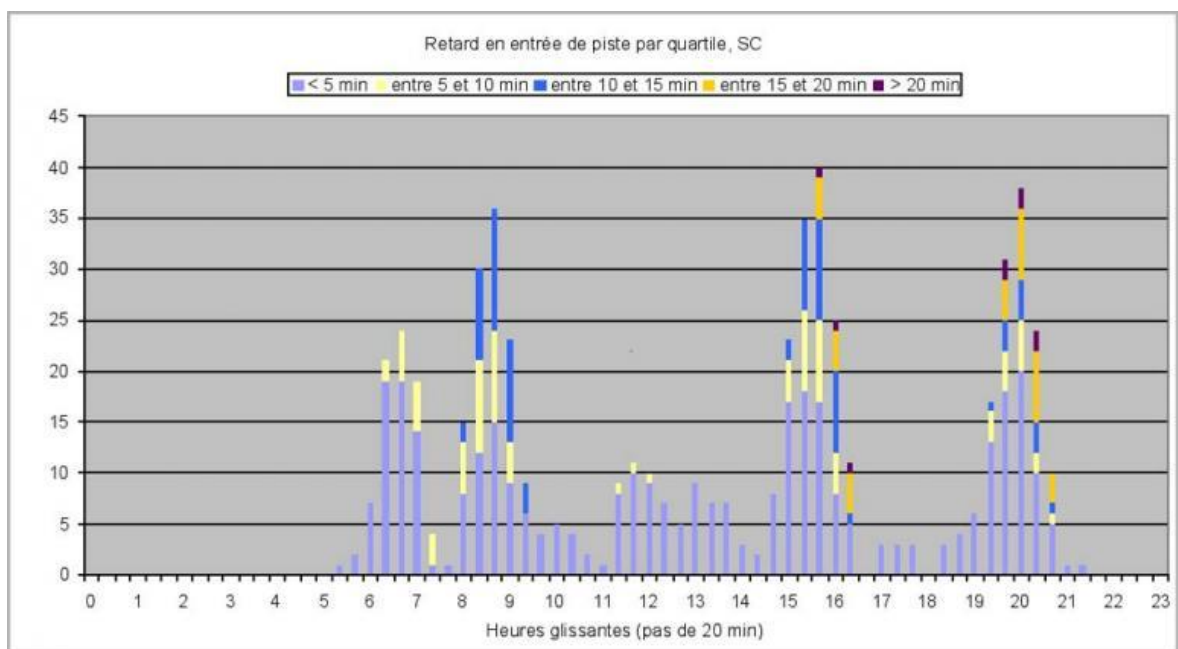


Figure 3.1 : Retard en entrée de piste[14]

Une mauvaise optimisation des voies de circulation résulte en une capacité technique (le nombre de demandes pouvant être traitées dans une période de temps avec une infrastructure donnée, en respectant la réglementation et compte tenu d'un niveau de qualité de service) des aires de trafic saturée. On observe donc un temps de roulage moyen plus élevé aux départs qu'aux arrivées.[14]

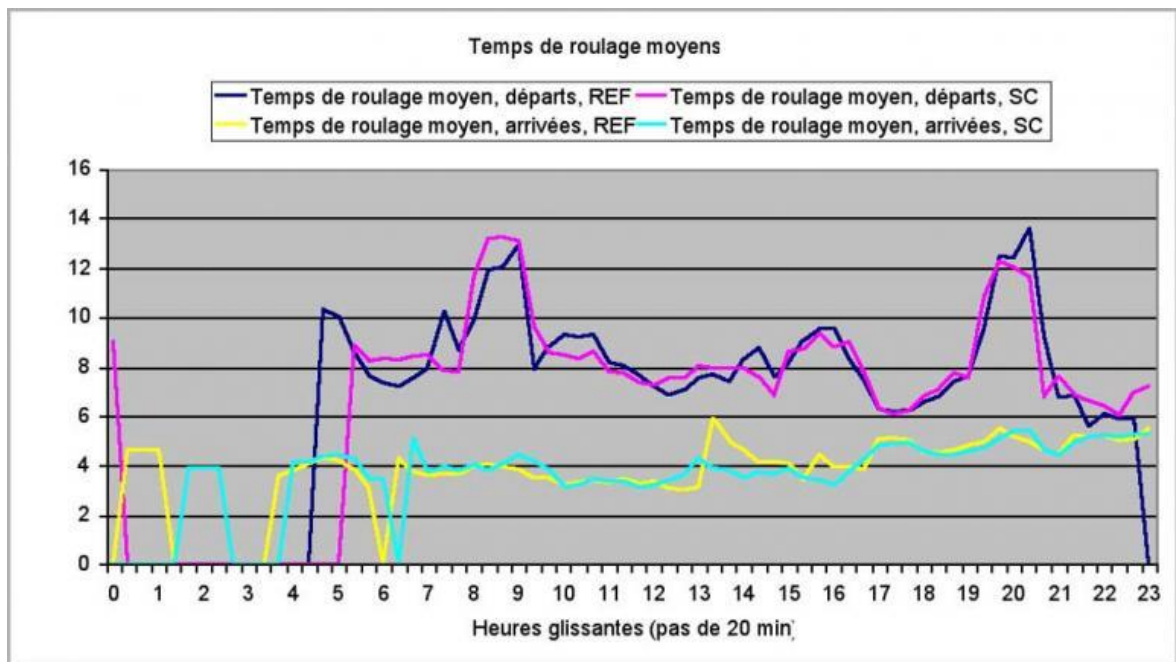


Figure 3.2 : Temps de roulage moyen[14]

Aujourd’hui, lorsque l’on parle d’améliorer la gestion du trafic au sol dans les aéroports, un des principaux axes d’amélioration sur lequel on s’attarde est la réduction des coûts engendrés par le trafic. Les coûts élevés actuels sont en grande partie dus à une perte de temps qui pourrait être améliorée [14].

### 3.3 Objectifs d’une bonne gestion du trafic au sol

Une bonne gestion du trafic au sol est en effet cruciale et nécessaire dans la mesure où elle a pour but initial la régulation pour une prévention des collisions et une coordination des mouvements des avions. Le contrôle assidu du trafic au sol est également entrepris dans un but de sécurité, notamment en ce qui concerne la surveillance et la rapidité des mouvements des véhicules.

#### 3.3.1 Les acteurs du trafic aéroportuaire

Dans les opérations au sol, on distingue deux acteurs principaux :

- ✚ Les autorités aéroportuaires et les contrôleurs du trafic sol,
- ✚ Les compagnies aériennes et les pilotes.

Les uns sont responsables de la définition de l'offre de service (les autorités aéroportuaires) et de sa mise en œuvre (les contrôleurs), les autres sont responsables de la demande de service (les compagnies aériennes) et de sa mise en œuvre (les pilotes).[3]

### **A. Les autorités aéroportuaires**

Afin de s'assurer que les infrastructures au sol sont adaptées à la circulation des aéronefs sur la plate-forme aéroportuaire, les autorités aéroportuaires ont une responsabilité en terme de trafic aéroportuaire telle qu'elles se doivent de contrôler cette adaptabilité à court, moyen et long terme. C'est pourquoi la majeure partie des activités des autorités aéroportuaires tourne autour de la planification de la capacité de la plate-forme aéroportuaire. En outre, elles se chargent également des extensions, redéploiements ou encore de l'entretien des installations.[4]

### **B. Le rôle des contrôleurs**

Le rôle des contrôleurs est de tirer au mieux profit de la capacité installée de circulation aéroportuaire pour gérer les flux de trafic en privilégiant la sécurité et, autant que possible, la ponctualité. Ce qui signifie qu'ils doivent être capables de :

- ✚ Localiser tous les aéronefs et les véhicules en mouvement sur la plate-forme aéroportuaire,
- ✚ Guider les aéronefs (au sein du réseau de circulation aéroportuaire entre les pistes et les points de stationnement),
- ✚ Parer à tout problème survenant sur la plate-forme et associé au système de contrôle du trafic sol (des pannes du balisage jusqu'aux incursions de piste).[4]

### **C. Les compagnies aériennes**

Les compagnies aériennes sont les utilisateurs principaux des services offerts par les systèmes de gestion du trafic au sol. Ces systèmes mettent un point d'honneur à fournir à leurs clients, passagers et compagnies (fret aérien) un service de qualité qui se caractérise par :

- ✚ La sécurité des opérations. Il faut en effet éviter les accidents. On peut rappeler Milan, le 08/09/2001 en Italie, Madrid le 07/12/1983 en Espagne, Cherry Point le 15/12/1983 aux États-Unis, Copenhague le 10/09/1981 au Danemark, Tenerife le 27/03/1977 aux Iles Canaries, Chicago le 20/12/1972 aux États-Unis pour citer les collisions les plus connues. Ce sont autant d'accidents qui ont marqué l'histoire de l'aviation commerciale étant donné leur envergure,
- ✚ La ponctualité et l'absence ou la limitation des retards. C'est pourtant bel et bien au niveau de la plate-forme aéroportuaire que la majeure partie de retards arrive. Ces retards sont en effet le plus souvent dus aux conditions de trafic sol et dans la TMA<sup>6</sup>,
- ✚ Le confort. C'est ce qui motive les systèmes de gestion de trafic au sol à réduire les distances que les passagers devront parcourir pour embarquer, débarquer et effectuer une escale d'un vol à un autre. Ces initiatives sont développées au niveau des terminaux passagers de l'aéroport. C'est pourquoi cette dernière caractéristique dépend fortement de l'organisation même de l'aéroport d'un point de vue physique.[4]

#### **D. L'équipage**

L'équipage est en charge directe du contrôle des mouvements de l'avion sur la plate-forme aéroportuaire. Lors de l'exécution des instructions reçues du système de contrôle de trafic, le rôle de l'équipage est, entre autres, de :

- ✚ Echanger avec le système de contrôle de trafic au sol (« la tour »),
- ✚ Suivre les directives des contrôleurs de trafic,
- ✚ Se situer de manière précise sur la plate-forme aéroportuaire,
- ✚ Eviter toute collision avec d'autres aéronefs, véhicules et autres obstacles,
- ✚ Eviter toute excursion piste ou taxiway qu'importe les conditions météorologiques et de visibilité.[4]

---

<sup>6</sup>*Terminal Manoeuvring Area*



## 3.4 Les systèmes de la gestion du trafic au sol

### 3.4.1 SMGCS

Depuis que l'OACI a été créé, on en est vite arrivé à la conclusion suivante : la gestion efficace des mouvements aéroportuaires va de pair avec la mise en place d'un véritable système de contrôle du trafic au sol qui servirait de lien entre les contrôleurs, les pilotes et les autres acteurs intervenant sur la plate-forme. Ce système, appelé alors SMGCS (Surface Movement Guidance and Control System) a fait l'objet des nombreuses recherches, notamment avec l'augmentation fulgurante du trafic et l'extension des voies de circulation et des zones de stationnement sur les grands aéroports. De nos jours, on constate que ce système n'est officiellement qu'à moitié implanté sur quelques aéroports américains. Quant aux aéroports européens (Roissy, Frankfort, Heathrow), nous en sommes encore au stade d'études expérimentales.[15]

Les principales fonctions de ce système sont les suivantes :

1. **La fonction Surveillance**, qui doit permettre d'accompagner l'évolution du trafic au sol et d'évaluer la situation courante du trafic.
2. **La fonction Planning Opérationnel**, qui prenant en compte la situation actuelle du trafic, génère un plan d'action à partir des conditions courantes de la demande (avions à l'arrivée ou au départ) et de l'offre (par exemple, les positions de parking disponibles, les créneaux de départs sur les pistes etc.) de circulation.
3. **La fonction Routage**, qui suite à la tactique élaborée mentionnée ci-dessus, délivre des directives d'assistance à la direction pour les pilotes qui eux, n'auront plus qu'à les exécuter celles-ci. Aujourd'hui, tous les véhicules se font indiquer la route à emprunter sur la plate-forme aéroportuaire. Dépendant du système, la fonction routage peut également apporter des informations en temps réel qui prennent compte des perturbations immédiates du trafic au sol. Elle donne alors des préférences itinéraires étape par étape : c'est là qu'on parle de guidage.[15]

### 3.4.2 Le système A-SMGCS

Pour apporter des améliorations dans tous les domaines concernés par les mouvements au sol au sein de l'aéroport, l'OACI a fait la création d'un concept nouveau qui est « A-SMGCS<sup>7</sup> ». Au départ le « A » de A-SMGCS signifiait « Automatic<sup>8</sup> », traduisant ainsi une sorte de système futuriste ayant la capacité de tout contrôler et de tout surveiller de manière autonome et ce sans faire intervenir l'humain. Une telle vision fut vite qualifiée de trop ambitieuse, très peu réaliste sur le plan technique et assez délicate sur un plan social. C'est pourquoi on a préféré au terme « Automatic » l'appellation « Advanced<sup>9</sup> » qui désigne, sans pour autant exprimer un quelconque degré, « l'automatisation ». On parle alors d'un système qui promet d'apporter des performances améliorées, évoluées en matière de sécurité et de capacité dans diverses conditions conflictuelles (météorologiques, conditions de densité de trafic, conditions d'opérations particulières), et ceci, par le biais de l'utilisation de techniques modernes de traitement de l'information et d'une intégration importante des différentes fonctions. Au cours des années 1990, l'idée générale de l'A-SMGCS a elle-même évolué, ce qui a permis à une vision plus claire de ses concepts. L'OACI<sup>10</sup>, en 1997 a défini les grandes lignes et les définitions des fonctions de base d'un tel type de système : Surveillance, Routage, Guidage, Contrôle.[4]

#### 3.4.2.1 Les objectifs de « A-SMGCS »

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

- ✚ D'offrir à tous les acteurs (pilotes, contrôleurs, conducteurs de véhicule) un même niveau de service
- ✚ De préciser très clairement les responsabilités de chacun
- ✚ D'élaborer des moyens améliorés à l'intention de ces acteurs pour qu'ils puissent avoir une meilleure prise en compte de la situation
- ✚ D'améliorer les indications au sol et les procédures

---

<sup>7</sup>Advanced Surface Movement Guidance and Control System

<sup>8</sup>Automatique

<sup>9</sup>Avancé

<sup>10</sup>L'organisation de l'aviation civile internationale

- ✚ De réduire la charge de travail du contrôleur et du pilote par l'automatisation de certaines fonctions et l'amélioration de l'ergonomie
- ✚ D'offrir des solutions modulaires adaptées à chaque type d'aérodrome
- ✚ D'assurer la détection, l'analyse et la résolution des conflits
- ✚ De garantir un environnement plus sûr et efficace par l'automatisation en pouvant y inclure des éléments de contrôle, de guidage et d'assignation de routes.[16]

### 3.4.2.2 Les éléments et les principales fonctions du A-SMGCS

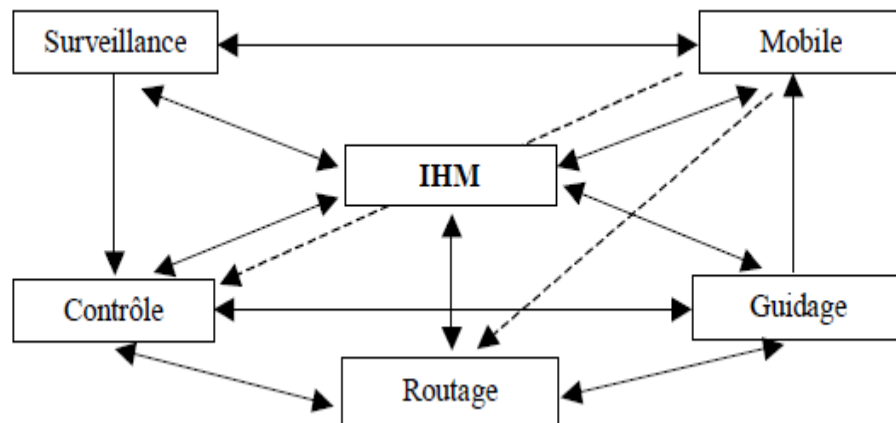


Figure 3.3 : Eléments fonctionnels généraux d'un système de type A-SMGCS[4]

#### a. La fonction de surveillance

La fonction de surveillance, d'après l'OACI, doit pouvoir connaître cette situation en temps réel (position et identification de tous les mobiles) tout en connaissant d'autres informations essentielles à l'appréhension de l'état des lieux au sol (comme par exemple la destination, ou la vitesse etc), tout en étant utilisée par les autres fonctions que possède le A-SMGCS (contrôle et guidage).[16]

## **b. La fonction de routage**

La fonction de routage a pour rôle, comme son nom l'indique, d'attribuer une route à chaque mobile. Sans présence de systèmes perfectionnés, c'est habituellement le contrôleur qui réceptionne cette route et qui la transmet au mobile dont il est question. Dans les systèmes plus perfectionnés, en mode automatique, la route est directement suggérée au mobile (le contrôleur en est toujours informé et il peut intervenir si besoin).

Pour être efficace, la fonction routage a pour responsabilité d'intégrer l'ensemble des données et des limites de la situation pour pouvoir réagir en temps réel à chaque changement inattendu. Son objectif final est de réduire les temps de roulage et de fluidifier le trafic au sol grâce à son assistance.[16]

## **c. la fonction de guidage**

L'OACI définit les responsabilités de la fonction de guidage comme suit. Elle fournit des indications concises et précises aux pilotes et conducteurs de véhicules afin qu'ils suivent la route suggérée par la fonction de routage. Il est donc évident que lorsque le climat le permet (bonnes conditions de visibilité), la fonction guidage fournit principalement des aides visuelles normalisées, assurant ainsi un déplacement en sécurité et relativement rapide. Si des contraintes se présentent (mauvaise visibilité), le guidage sera donc assisté par un ajout d'équipements au sol ou embarqués pour apporter davantage d'indications visuelles pour que l'appareil suive son chemin en respectant le trafic imposé tout en activant la fonction guidage.[16]

## **d. la fonction de contrôle**

La fonction de contrôle assiste le contrôleur et parfois, prend son rôle d'organiseur et de responsable de la sécurité. Cette fonction doit pouvoir organiser le trafic en général par le maintien des distances de sécurité entre les mobiles, entre les mobiles et les obstacles et par la détection et la résolution de tout conflits possibles. C'est la raison pour laquelle elle est parfois amenée à déclencher des alertes (à moyen terme) pour apporter des modifications d'itinéraires. Pour les alertes à court terme, elle exige une réaction

immédiate des acteurs dont il est question. On distingue le mode semi-automatique du mode automatique. Dans le premier, le contrôleur reçoit d'abord les alertes, ce qui augmente le délai de réaction. Dans le deuxième, le mobile dont il est question reçoit directement l'alerte.[16]

#### **e. La fonction IHM**

Parmi les systèmes prometteurs de gestion du trafic au sol, nous comptons également les Interfaces Homme Machine (IHM). Dans le A-SMGCS que nous venons de présenter, les IHM ont pour but de connecter le système en question à ceux qui font usage du système, à savoir, les contrôleurs, les pilotes et les conducteurs de véhicules intervenants sur la plate-forme aéroportuaire.[17]

## **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons expliqué l'importance de la gestion du trafic au sol tout en se basant sur les incidents liés aux mauvais échanges entre les contrôleurs et l'équipage, puis nous sommes passés aux acteurs qui ont une influence directe sur le trafic aéroportuaire (les autorités aéroportuaires, les contrôleurs, les compagnies aériennes et l'équipage).

Par la suite nous avons parlé des systèmes de la gestion du trafic au sol créé par l'OACI ainsi que les éléments qui les constituent.

## **CHAPITRE 4 :Optimisation du trafic au sol au niveau de l'aéroport D'ALGER**

Dans ce dernier chapitre, Nous présenterons une proposition de système d'aide à la décision pour la gestion du trafic avion au sol. Pour cela, nous exposerons dans un premier temps les paramètres utilisés pour réaliser le travail, par quels moyens nous avons pu lui donner vie. Ainsi, l'utilisation d'un algorithme d'optimisation. Finalement, nous obtiendrons des résultats que l'on énoncera dans un deuxième temps tout en expliquons les étapes de la modélisation qui a été faite.

C'est ainsi que nous pourrons appliquer nos ajustements à l'aérodrome d'Alger et tirer des conclusions prometteuses et pourquoi pas adaptables à l'aérodrome en général.

### **4.1 Paramètres utilisés**

Gérer le trafic des avions au sol, c'est savoir faire preuve de prise de décision pertinente pour gérer les opérations et leur contrôle au sol.

Les prévisions de trafic et la situation actuelle sont un lot d'informations qui nous aident donc à définir ou réévaluer tous les paramètres qui entrent en jeu dans les déplacements au sol.

À l'arrivée, nous avons donc absolument besoin d'avoir à notre portée les informations suivantes pour chaque avion :

- ✚ la piste d'atterrissage prévue et l'heure d'atterrissage. C'est le système de contrôle de trafic aérien qui donne cette information. En collaboration avec le système de gestion au sol, il essaye d'apporter cette donnée (Donnée 0). Pour ce qui est de l'heure d'atterrissage, son degré de précision est grandement impacté par l'horizon de prévision.
- ✚ le poste, ou la zone de postes de stationnement prévue. Cette information peut être fournie par la compagnie aérienne si elle a sa disposition des

créneaux de stationnement. Autrement, c'est le système de gestion du trafic au sol qui fournit cette information.

Dans l'ordre logique des choses, il faut donc d'abord choisir un poste de stationnement (Donnée 1), puis de définir un cheminement entre la sortie de piste et ce poste de stationnement (Donnée 2). Le contrôle du trafic au sol prend ensuite le relais pour guider l'avion pas à pas suivant l'itinéraire défini (Donnée C1).

Pareillement, en ce qui concerne la gestion des départs, on a besoin de deux informations capitales sur chaque avion : le poste de stationnement et l'heure programmée de départ.

La compagnie aérienne dispose de ces informations ainsi que le système de gestion du trafic au sol.

Pour prendre une décision complète et effective, pour chaque avion prévu au départ, il faut prendre en compte les données suivantes et faire un choix parmi celles-ci :

- ✚ la piste de décollage (Donnée 3),
- ✚ le moment de libération du poste de stationnement (Donnée 4)
- ✚ le cheminement entre le poste de stationnement et la piste (Donnée 5).

Le contrôle du trafic au sol prend ensuite le relais pour guider pas à pas l'avion suivant l'itinéraire adopté (Donnée C2).

Toutes ces données sont interdépendantes car elles se succèdent et génèrent des décisions qui elles-mêmes se succèdent (comme les flux au niveau des voies de circulation, de stationnement et de la piste). On peut donc dresser le tableau suivant :

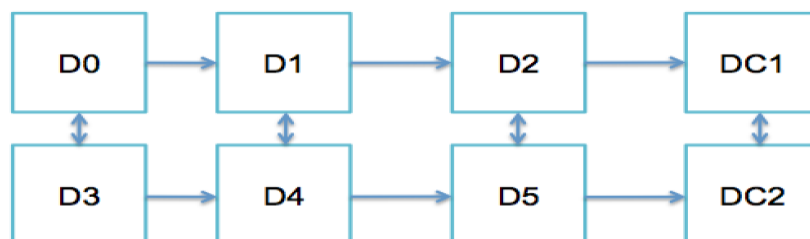
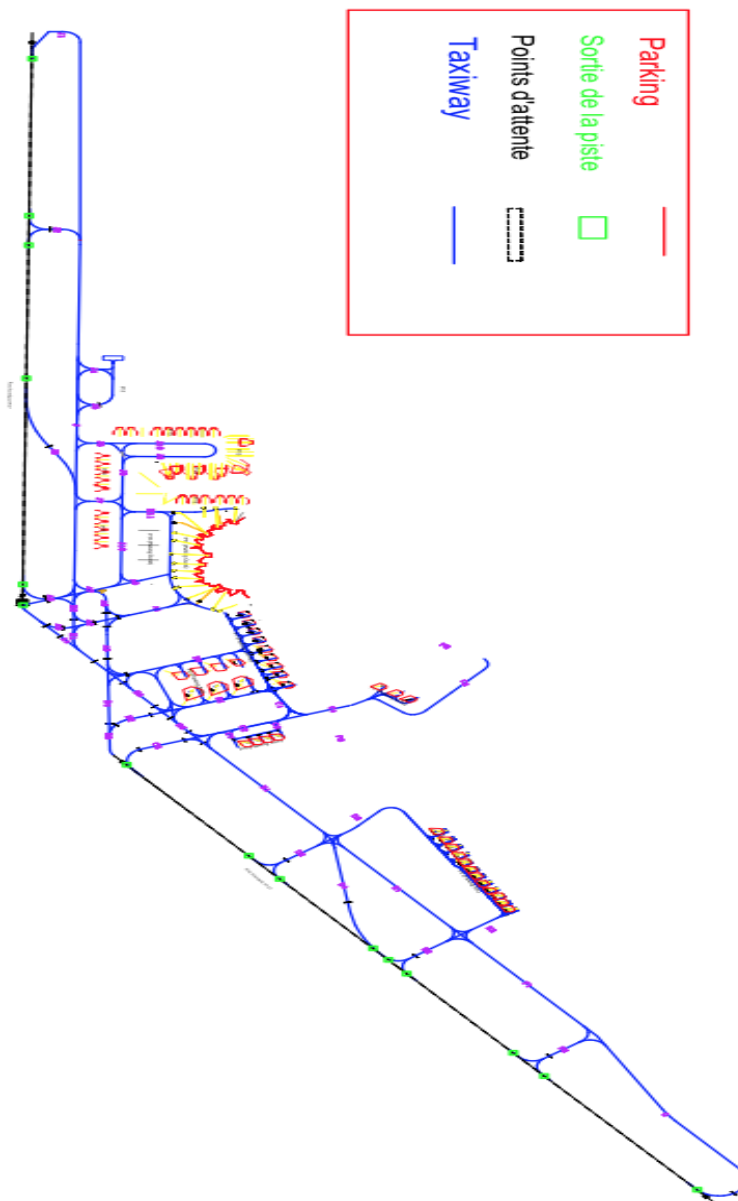


Figure 4.1 : Interdépendances entre problèmes de gestion et de contrôle du trafic au sol des Aéronefs

A partir de toutes ces notions essentielles à nos futurs calculs, sur la figure qui suit (figure 4.2), on trouvera une représentation à partir d'AUTOCAD de l'aérodrome International d'Alger. Cette représentation graphique met en avant uniquement les taxiways, parkings et postes de stationnement, comme on peut voir les parkings sont représentés par des lignes rouge, les sorties de piste par des carrés verts; les points d'attente par des rectangles noirs et finalement les taxiways par des lignes bleues. Nous avons délibérément omis la présence des autres infrastructures afin de mettre en lumière les éléments qui sont pertinents à notre étude et à notre application.



**Figure 4.2 : Représentation graphique de l'aérodrome d'Alger**



## 4.2 Modélisation de l'aérodrome

Pour pouvoir prétendre à optimiser le trafic aéroportuaire, la modélisation de l'aéroport est essentiellement destinée à la définition de différentes possibilités d'itinéraire à chaque mouvement. Afin d'être valides, les itinéraires proposés doivent être plus que conformes aux tracés au sol, ils doivent en effet s'inscrire dans les attentes et les réglementations opérationnelles :

- ✚ Les itinéraires proposés doivent être sans boucle : faire passer un avion deux fois au même endroit est souvent pénalisant.
- ✚ Un aéronef ne doit pas circuler dans un parking, même si ce dernier est vide : le fait que certains parkings possèdent des sorties en marche avant ne doit pas laisser penser que ce sont des raccourcis.
- ✚ En dehors des cas de figures dits « indispensables » (avant le décollage, après l'atterrissage, ou nécessité de traverser une piste), l'avion ne doit absolument pas rouler sur les aires de pistes.

Cette liste n'est évidemment pas exhaustive et chaque aéroport, selon sa structure, pourrait la personnaliser ou la compléter. Attribuer des itinéraires aux avions est en effet une tâche en constante progression et flexible à tout nouveau paramètre.

Comme nous avons pu le voir sur la figure 4.2 représentant l'aérodrome d'Alger, il y a la présence de virages entre les taxiways, des points de repoussage et les vitesses des avions, afin d'étudier ces éléments, nous avons d'abord choisi le critère qui nous intéressait et à partir duquel on voulait travailler. Pour notre cas, on a opté pour le critère suivant : le **temps**. Il est plus pertinent pour nous d'estimer le chemin le plus court en terme de temps que de distance car le trafic influe directement sur distance, et le chemin peut donc s'avérer moins avantageux.

Afin de pouvoir travailler avec le critère « temps », nous avons transféré tous les éléments dont on a eu besoin sur la carte en éléments temporels.

Nous avons donc pris en compte les éléments suivants dans notre modélisation :

- Les postes de stationnement et les taxiways existants,
- Les distances des taxiways et les virages entre les taxiways,
- Les postes nécessitant un repoussage
- La vitesse des avions au sol

#### 4.2.1 Les postes de stationnement et les taxiways existants

D'après la carte de l'aérodrome d'Alger, il existe 15 parkings (numérotés de 1 à 15). Cependant, certains parkings ont plusieurs postes de stationnement tandis que d'autres ne peuvent pas vraiment être considérés comme des postes de stationnements. C'est pourquoi on a préféré regrouper ces postes avec d'autres (comme nous l'avons fait avec les parkings 3, 4 et 6). Pour les nouveaux parkings, nous n'avons pas assez d'informations sur les postes de stationnement et les distances qui les séparent, c'est pour cela que l'on a préféré regrouper ces postes en un seul parking (parking 12,13,14,15 et le nouveau parking 10). Enfin, on compte un total de 48 taxiways.



Figure4.3 : Regroupement de parking réalisé sur certain postes de stationnement de l'AI HB

#### 4.2.2 Les distances et les virages entre les taxiways :

Comme notre aéroport compte plusieurs taxiways, on a constaté que chaque taxiway possédait une distance propre à lui-même. Chaque taxiway est lié à un autre taxiway par un virage. Les virages sont à chaque fois différents les uns des autres.

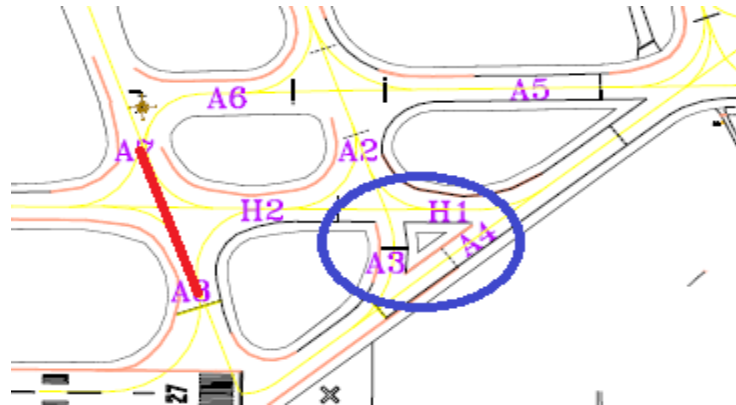


Figure4.4 : Distances et virages entre les taxiways

#### 4.2.3 Les postes nécessitant un repoussage

Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, il y a plusieurs modes de stationnements et parmi ces nombreux modes, certains parkings nécessitent le repoussage pour exécuter les sorties de postes et les entrées en roulage afin d'arriver à destination.



Figure 4.5 : Les postes nécessitant un repoussage

#### **4.2.4 La vitesse des avions au sol**

Il n'y a pas un règlement en vigueur sur la vitesse de roulage au sol imposé pour les pilotes. Cependant, chaque pilote peut rouler à la vitesse qui lui convient, sachant que la vitesse maximale de roulage selon les contrôleurs est de 25 km/h.

C'est pour cela que nous avons décidé de travailler avec une vitesse moyenne qui a été choisi parmi les différentes vitesses observées sur le terrain pour procéder à notre application.

#### **4.2.5 la vitesse moyenne utilisée dans le programme**

Nous avons calculé la vitesse moyenne d'après plusieurs essais observés sur l'aérodrome. Nous avons également pris en considération la vitesse des virages et la vitesse de repoussage comme le montre les figures 4.6 et 4.7.

Les voies de circulation de l'aéroport peuvent être modélisées comme suit : dans un graphe, elles relieraient entre elles les intersections des taxiways et les voies d'accès parkings ou pistes. Chercher les itinéraires possibles pour un avion reviendrait donc à lister les meilleurs chemins, avec leurs contraintes respectives.

Ainsi, si on se positionne sur le graphe, notre but ultime est de trouver le chemin le plus court entre deux points (le chemin le plus court d'un avion vers sa destination). C'est là qu'intervient l'algorithme de Dijkstra [18]. Il nous servira donc à calculer la distance la plus courte entre chaque point du graphe et tous les points d'arrivée (parking ou point d'arrêt de piste). Si l'on pose la généralité suivante : les avions ont une vitesse constante, on peut donc transformer la distance en temps. C'est ainsi que le temps minimal (qu'on appelle aussi coût minimal pour toutes les raisons étudiées dans la première partie de ce chapitre) pour aller d'un point A à un point B est obtenu.

L'algorithme de Dijkstra [18] que nous introduirons par la suite, est également utile au calcul du chemin de moindre coût tout en prenant en compte de l'impact des virages. L'avion doit en effet réduire sa vitesse aux virages et ne peut en emprunter un trop grand nombre. C'est donc une contrainte à prendre en considération. Il faut savoir que le coût du

chemin est appelé aussi temps du chemin car il tient compte de la durée du trajet et non de la distance de celui-ci. C'est pour cela que l'on a défini une fonction "temps de virage" (voir figure 4.6) qui a pour vocation de traduire le retard pris par l'aéronef en fonction de l'angle de virage (exprimé en degrés).

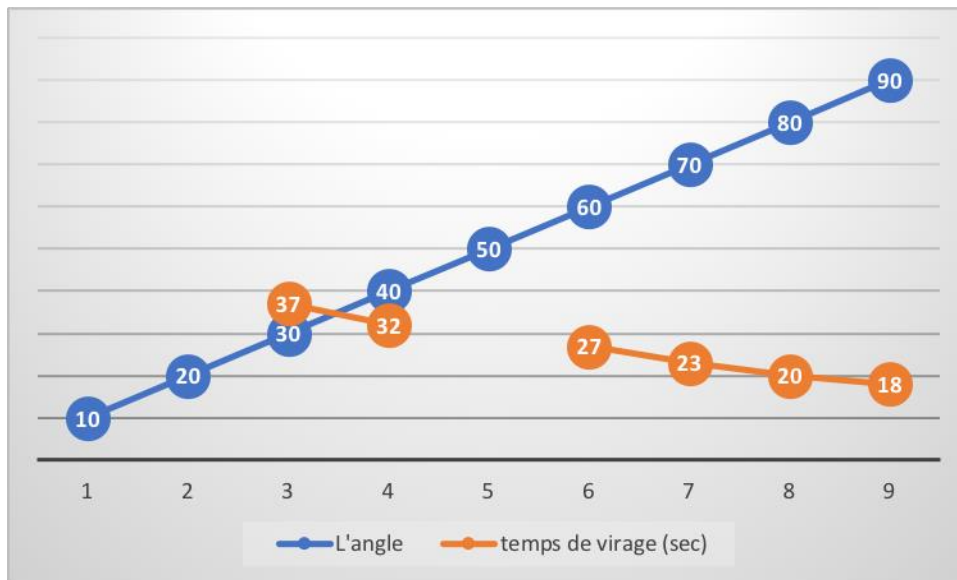


Figure 4.6 : Pénalisation du temps de virage en fonction de l'angle

Tout comme l'on procède pour le temps moyen supplémentaire qu'on attribue arbitrairement aux avions lors de passages par les virages, nous avons ajouté un laps de temps induit par le repoussage car c'est une étape où l'aéronef est tracté. Sa vitesse n'est donc pas la même que pendant le reste du roulage. Nous prenons donc en compte une pénalisation temps représentant la phase repoussage que nous avons ajoutée à la fonction finale.

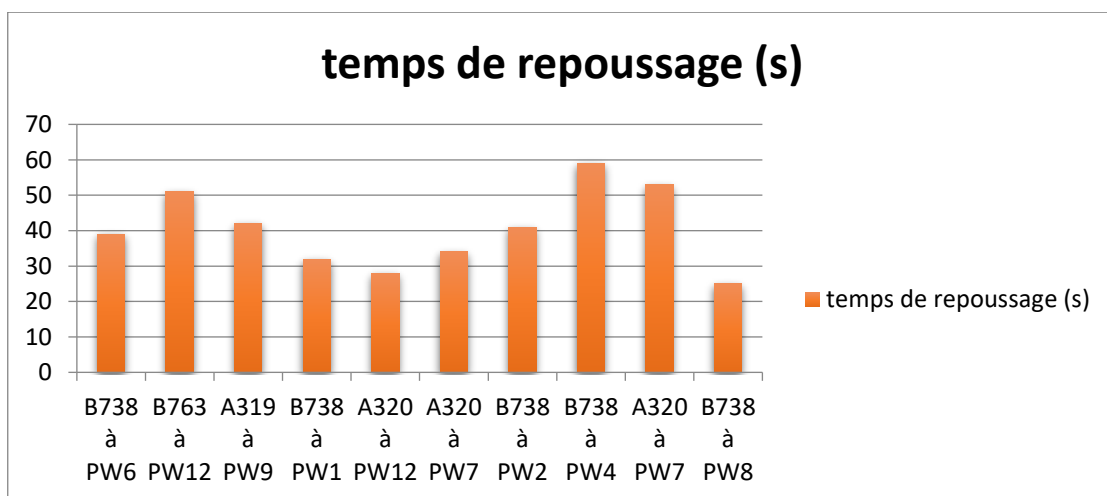
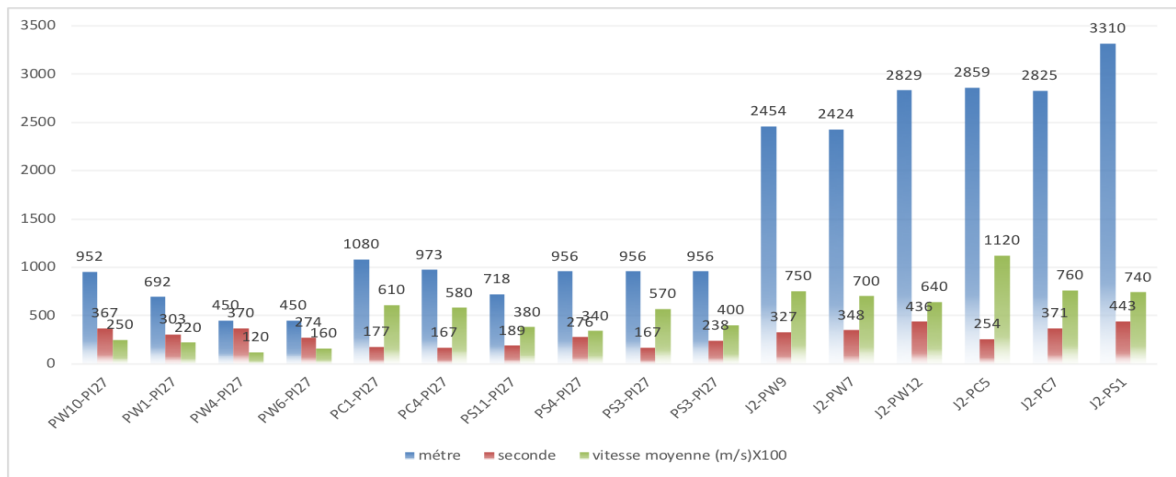


Figure 4.7 : Pénalisation du temps de repoussage

La vitesse de roulage des avions n'est pas fixée : on parle seulement de vitesse adaptée aux risques relatifs à la situation de l'aéronef. C'est l'unique consigne opérationnelle explicitement énoncée que l'on retrouve. On modélise alors la vitesse à partir de plusieurs routages sur l'aérodrome.

D'après plusieurs essais de routage sur l'aérodrome, on a conclu que la vitesse moyenne de déplacement est de 5,2 m/s et c'est-ce qui est noté sur la figure 4.8 qui montre les résultats de ces essais :

- ✚ Pour la distance en mètres colorée en bleu
- ✚ La durée en seconde coloré en rouge
- ✚ Et la vitesse moyenne (m/s) colorée en vert



**Figure 4.8 : vitesse de roulage**

Notons que le graphe sur la figure 4.2 représentée au début du chapitre montre la structure de l'aérodrome n'a pas de direction prédéfinie et tous les taxiways peuvent donc être empruntés dans les deux avions se trouvent en situation de conflit (face à face). Sachant qu'il est impossible pour les avions de reculer et que le taxiway est trop étroit pour penser à un éventuel croisement entre deux avions, cette situation est bel et bien problématique. En pratique, les taxiways ne sont utilisés par les contrôleurs que dans un sens. Cependant, nous avons laissé l'algorithme déterminer les plus courts chemins sans orientation pour observer comment ces sens de circulations vont s'organiser.

### 4.3 Les étapes de la modélisation

La première étape de modélisation consiste à prendre les distances entre les différents taxiways, à partir de la carte qui s'affiche sur le fichier AUTOCAD nous avons pris ces distances comme suit:

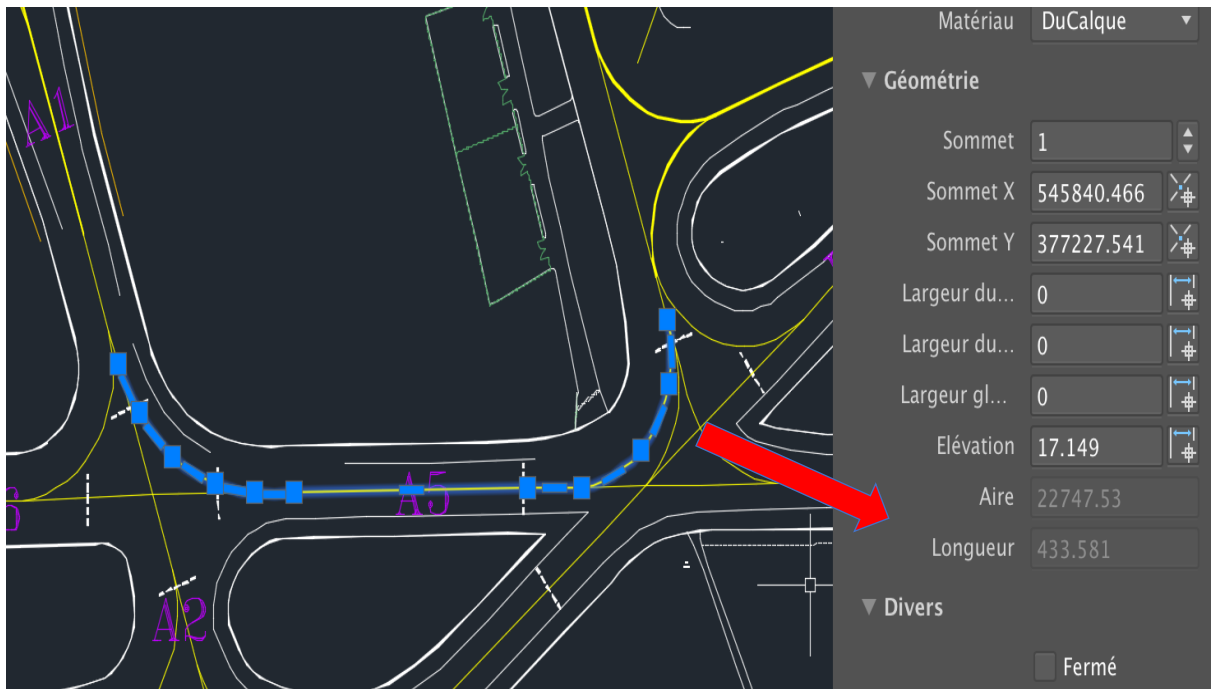


Figure 4.9 : Distance entre taxiways avec AUTOCAD

Les distances récoltées ont ensuite été transférées en unité de temps par la simple opération suivante : distance divisée par la vitesse moyenne.

Ensuite, nous avons entamé la seconde étape de la modélisation à savoir, la prise en compte des pénalisations virage et repoussage (si elles ont lieu d'être).

Par exemple, dans le cas d'un virage entre deux taxiways, on a simplement ajouté le temps de pénalisation entre ces deux taxiways.

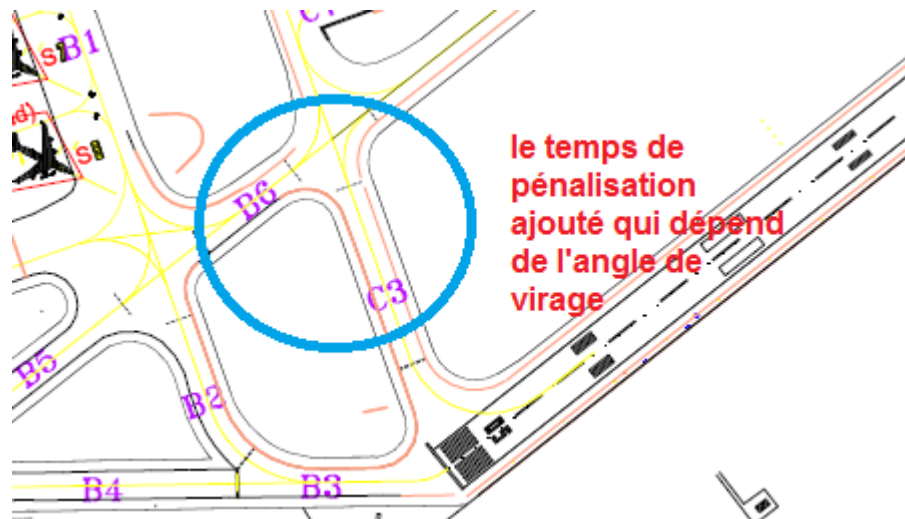


Figure4.10 : Exemple de la pénalisation du virage

Enfin, nous avons abordé la troisième et dernière étape de la modélisation : pour pouvoir utiliser ces calculs et résultats dans notre programme, nous avons regroupé toutes ces données dans un fichier EXCEL qui comporte notre matrice carrée (108 X 108), pour pouvoir les importer dans notre programme de l'algorithme de Dijkstra sur MATLAB

Tableau 4.1 : exemple de la matrice carrée sur fichier EXCEL

	A	B	C	D	E	F	G
A		20	10				
B	20		20	10			
C	10	20		40	30	50	
D		10	40		30	60	50
E		30	30	30		10	
F			50	60	10		20
G				50		20	

Après avoir modélisé l'aérodrome, nous allons passés à l'étape programmation. Pour cela, nous avons utilisé l'algorithme de Dijkstra.

#### 4.4 Utilisation de l'algorithme de Dijkstra

Dès lors qu'on commence à parler de contraintes, d'algébrisation de données pour calculer les meilleures décisions, on comprend qu'il est nécessaire de faire intervenir des logiciels et des algorithmes car l'humain n'est pas en capacité d'assimiler autant de données. C'est la raison pour laquelle certains des problèmes identifiés ne peuvent être



abordés qu'a travers de systèmes régulés et d'algorithmes. C'est la raison pour laquelle nous verrons comment l'algorithme de Dijkstra[18] a pu apporter une solution au gain de temps que nous recherchons.

En théorie des graphes, L'algorithme de Dijkstra [18] sert à résoudre le problème du plus court chemin. Il permet, par exemple, de déterminer un plus court chemin pour se rendre d'une ville à une autre connaissant le réseau routier d'une région. Plus précisément, il calcule des plus courts chemins à partir d'une source dans un graphe orienté pondéré par des réels positifs. On peut aussi l'utiliser pour calculer un plus court chemin entre un sommet de départ et un sommet d'arrivée.[18]

L'algorithme porte le nom de son inventeur l'informaticien néerlandais Edsger Dijkstra, et a été publié en 1959.[18]

Voici la fonction principale :

```
Dijkstra(G,Poids,sdeb)
1   Initialisation(G,sdeb)
2   Q := ensemble de tous les nœuds
3   tant que Q n'est pas un ensemble vide faire
4       s1 := Trouve_min (Q)
5       Q := Q privé de s1
6       pour chaque nœud s2 voisin de s1 faire
7           maj_distances (s1,s2)
8       fin pour
9   fin tant que[19]
```

Le plus court chemin de (sdep) à (sfin) peut ensuite se calculer itérativement selon l'algorithme suivant, avec A la suite représentant le plus court chemin de (sdep) à (sfin) :

```
1   A = suite vide
2   s := sfin
3   tant que s != sdeb faire
4       A = A + s           /* on ajoute s à la suite A */
5       s = prédécesseur [s] /* on continue de suivre le chemin */
6   fin tant que[19]
```

#### 4.4.1 Principe de fonctionnement de la méthode de dijkstra

Un avion prépare son départ. il doit passé par un certain nombre de taxiways nommés A,B,C,D,E,F et G en partant de A pour arriver a G.

Les liaisons possibles sont représentées sur le graphe ci-contre pondéré par les durées, Quel chemin doit-il emprunter pour minimiser la durée totale du trajet de A à G ?

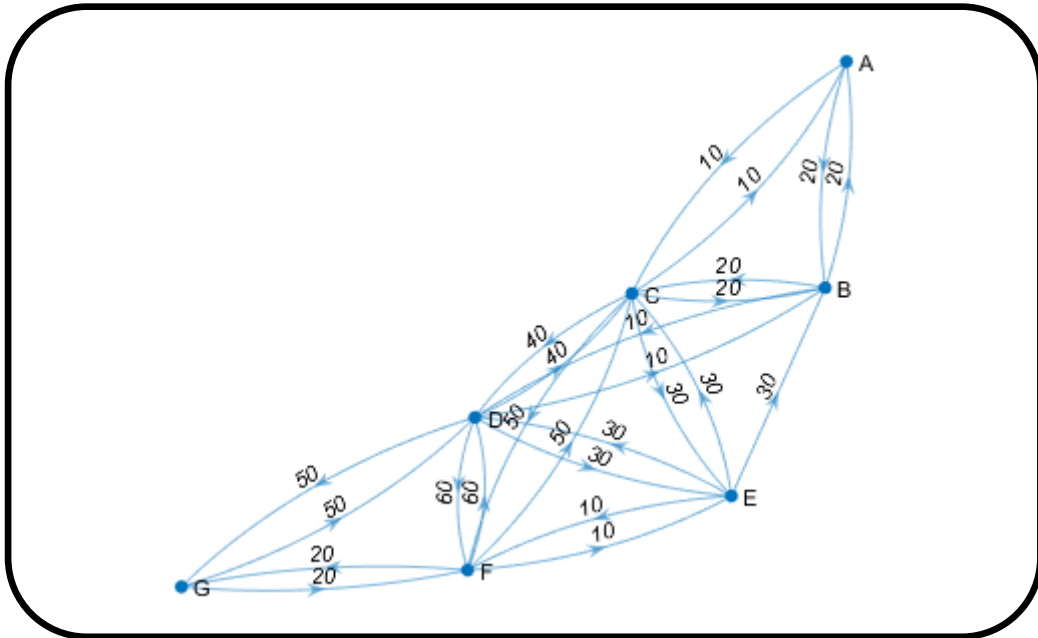


Figure 4.11 : les liaisons entre les points

**Début** Placer tous les sommets du graphe dans la ligne 1 d'un tableau ;  
 Sur la ligne 2 : le coefficient 0 sous le point de départ et le **coefficient (inf)** sous les autres sommets.

Sélectionner sur la ligne courante le sommet X de **coefficient minimal**;

**Tant Qu'**il reste des sommets non sélectionnés

Commencer une nouvelle ligne et rayer toutes les cases vides sous X en tirant un trait vertical.

**Pour** chaque sommet Y du graphe, adjacent à X

Calculer la somme  $p$  du poids courant et du poids de l'arête reliant X à Y

**Si**  $p$  est strictement inférieur au coefficient précédent de Y **alors**

**Inscrire**  $p$  dans la colonne « Y » **et noter** le sommet de **provenance**

**Sinon**

Recopier le coefficient précédent de Y

**Fin Si**

**Fin Pour**

**Compléter** la ligne par les coefficients de la ligne précédente.

**Sélectionner** le sommet X de **coefficient minimal** et commencer une nouvelle ligne.

**Fin Tant Que**

**Fin Afficher** le poids minimal obtenu et la chaîne de poids minimal.[20]

De façon plus explicite, le tableau ci-dessous représente les étapes dont on a déjà parlé, dans la première ligne on place tout les points de notre graphe, puis on rajoute dans la deuxième ligne le 0 dans le point de départ et l'infini dans les autres cases.

Après sur la ligne suivante, on note les coefficients dans lesquelles on peut aller d'un point de départ vers ces derniers et sur les autres cases on met des tirés pour montrer qu'il n'ya pas de possibilité de déplacement. en suite on choisit le coefficient minimal et on commence une nouvelle ligne sans oublié de rayer toutes les cases vides sous les points utilisé par un tiré, et on continue de voir les chemins possibles entre les points suivants et on rajoute les coefficients pour arriver à ces points.

Après de nombreuses itérations jusqu'au point destiné, on trouve les coefficients possibles pour arriver à ce point, on choisit le coefficient minimal et on revient de façon contraire pour identifier les points par lesquels on est passé pour arriver au point final avec le coefficient minimal et on écrit ces points avec le coefficient globale de ce chemin comme nous allons le montrer.

**Tableau 4.2 : Les étapes pour avoir le chemin le plus court**

A	B	C	D	E	F	G
0	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
-	20 <sub>A</sub>	10 <sub>A</sub>	-	-	-	-
-	20 <sub>A</sub> /30 <sub>C</sub>	-	50 <sub>C</sub>	40 <sub>C</sub>	60 <sub>C</sub>	-
-	-	-	50 <sub>C</sub> /30 <sub>B</sub>	40 <sub>C</sub> /50 <sub>B</sub>	60 <sub>C</sub>	-
-	-	-	-	40 <sub>C</sub> /60 <sub>D</sub>	60 <sub>C</sub> /90 <sub>D</sub>	80 <sub>D</sub>
-	-	-	-	-	60 <sub>C</sub> /50 <sub>E</sub>	80 <sub>D</sub>
-	-	-	-	-	-	70 <sub>F</sub> /80 <sub>D</sub>

Ce tableau nous permet de dire que le chemin le plus court entre le point de départ A et le point d'arrivée G est le « ACEFG » et sa durée est de 70 minute.

#### 4.4.2 Programmation de l'algorithme

Les différents chemins donnés par l'algorithme résultent en un graphe. Lorsque l'on a saisi le graphe, il a été représenté par une matrice carrée d'ordre  $n$  comme nous s'allons montré dans la troisième étape de la modélisation. Les sommets du graphe sont associés à un numéro de ligne ainsi qu'à un numéro de colonne allant de 1 au nombre de sommets utilisés (en plaçant le sommet de départ du trajet dans le nœud départ ( $nd$ ) et le sommet d'arrivée dans le nœud d'arrivée ( $na$ ). Il y aura ainsi des cases vides et certaines comprenant le temps du chemin en question.

Dans un premier temps, nous avons importé notre fichier EXCEL sur MATLAB pour l'ajouter à notre algorithme. Lors de l'importation du fichier, on a défini les cases vides comme des (NaN) : ce qui veut dire qu'il n'y avait pas de chemin possible entre les deux points étudiés.

Ensuite, nous avons débuté notre programmation selon MATLAB.

##### Étape 1 :

Déclaration de notre fonction qui résume l'objectif de notre programme :

```
function [ temps , nœud , chemin ] = meilleurecheminentre ( nd , na )  
tempss = [] ;
```

##### Étape 2 :

Ajout de l'importation du fichier XLS :

```
plop = xlsread ( ' nom de fichier excel ' ) ;  
plop ( isnan ( plop ) ) = 0 ;
```

##### Étape 3 :

Création du graphe selon la méthode de Dijkstra :

```
G = diagraph ( plop , noms' ) ;  
P = plot ( G , 'EdgeLabel' , G.Edges.Weight , 'NodeLabel' , G.Nodes.Name ) ;
```

#### Étape 4 :

Implémentation de l'algorithme Dijkstra [18] sur notre fichier EXCEL qui permet la création du graphe pour déclarer le point de départ et le point d'arrivée :

```
for i = 1 : size ( na , 2 )  
    [ chemin , temps ] = shortestpath ( G , nd , na ( i ) ) ;  
    tempss = [ tempss temps ] ;  
end
```

#### Étape 5 :

Après avoir fait la déclaration des nœuds de départ et d'arrivée, on rajoute une étape qui permet d'afficher le chemin le plus court entre ces deux points et colorer ce chemin sur le graphe tout en affichant l'estimation de temps de ce dernier sur MATLAB :

```
k = find ( tempss == min ( tempss ) ) ;  
[ chemin , temps ] = shortestpath ( G , nd , na ( k ) ) ;  
highlight ( P , chemin , 'EdgeColor' , 'r' ) ;  
temps = temps ;  
noeud = na ( k ) ;  
chemin = chemin ;  
end
```

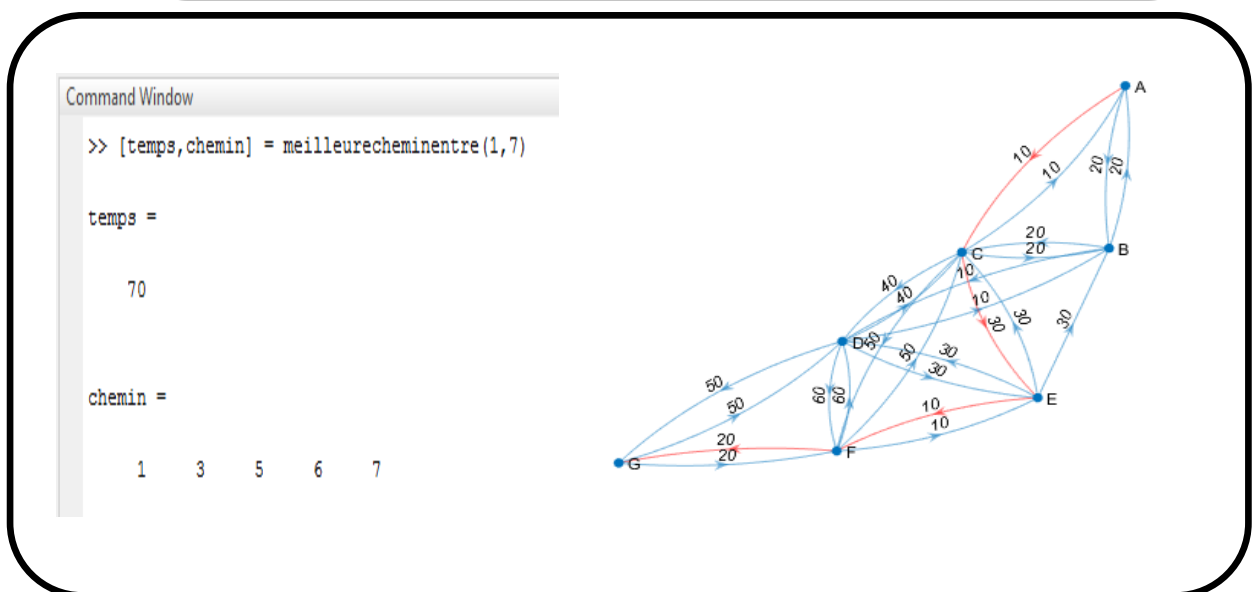


Figure 4.12 : Affichage des résultats sur MATLAB

Les résultats affichés ci-dessus sont donnés par MATLAB qui répond à ce que nous avons demandé dans la programmation, dans la ‘Command Window’, il affiche le temps pour effectuer le chemin optimal utilisé pour arriver au point destiné, et dans le graphe il donne le chemin coloré et les points utilisés.

## 4.5 Résultats

Nous obtenons ainsi tous les chemins les plus courts en matière de temps pour atteindre un point d’arrivée à partir d’un point de départ, et le chemin optimal utilisé pour arriver à ce point.

Dans les tableaux 4.3 et 4.4, les résultats obtenus de départ comportent tout les postes de stationnements (de parking 1 jusqu’à parking 15) vers les pistes de décollage (piste 05, piste 09, piste23 et piste 27).

Par exemple dans la deuxième ligne on trouve PC1 (qui veut dire poste de stationnement Charlie 1), le chemin optimal pour arriver à la Piste 05 comporte les taxiways « B1-B2-B3 » avec une estimation de temps de « 2 minute 48s » pour traverser ce chemin.

N.B: Le temps estimé dans le tableau 4.3 est moins important par rapport au tableau 4.4 et ça c'est à cause de la distance entre les parkings et les sorties de piste parce que les sorties de piste de la 05 et 27 sont plus proches que celles de la 09 et 23.

**Tableau 4.3 : Résultats de départ de tout les points de stationnement vers les points de décollage Piste 05 et Piste 27**

Postes de stationnement	les taxiways vers Piste 05	temps estimé(s)	les taxiways vers Piste 27	temps estimé(s)2
PC1	B1-B2-B3	2m48s	B7-A4	2m55s
PC2	B1-B2-B3	2m54s	B7-A4	2m50s
PC3	C1-C2-C3	2m46s	B7-A4	2m45s
PC4	B7-B4-B3	2m46s	B7-A4	2m40s
PC5	B7-B4-B3	2m49s	A9-A7-A8	2m37s
PC6	B7-B4-B3	3m03s	A9-A7-A8	2m32s
PC7	B7-B4-B3	3m08s	A9-A7-A8	2m27s
PC8	A1-A5-B4-B3	3m09s	A9-A7-A8	2m23s
PC9	A1-A5-B4-B3	3m04s	A9-A7-A8	2m18s
PS6	B2-B3	2m05s	B5-A4	2m32s

PS7	B2-B3	1m59s	B5-A4	2m23s
PS8	B2-B3	1m47s	B5-A4	2m14s
PS9	B4-B3	2m22s	A4	2m22s
PS10	B4-B3	2m15s	A4	2m16s
PS11	B4-B3	2m09s	A4	2m10s
PS12	B4-B3	2m03s	A4	2m03s
P(3 , 4, 6)	C4-C2-C3	2m29s	C4-C2-B6-B5-A4	3m26s
PE1	D3-D1-C3	4m36s	D3-D1-B6-B5-A4	5m42s
PE2	D3-D1-C3	4m32s	D3-D1-B6-B5-A4	5m37s
PE3	D3-D1-C3	4m27s	D3-D1-B6-B5-A4	5m32s
PE4	D3-D1-C3	4m22s	D3-D1-B6-B5-A4	5m27s
PE5	D3-D1-C3	4m17s	D3-D1-B6-B5-A4	5m23s
PE6	D3-D1-C3	4m12s	D3-D1-B6-B5-A4	5m18s
PE7	D3-D1-C3	4m08s	D3-D1-B6-B5-A4	5m13s
PE8	D3-D1-C3	4m03s	D3-D1-B6-B5-A4	5m08s
PE9	D3-D1-C3	3m58s	D3-D1-B6-B5-A4	5m03s
PE10	D3-D1-C3	3m53s	D3-D1-B6-B5-A4	4m59s
PE11	D3-D1-C3	3m48s	D3-D1-B6-B5-A4	4m54s
PE12	D3-D1-C3	3m44s	D3-D1-B6-B5-A4	4m49s
PN1	C4-C2-C3	2m54s	C4-C2-B6-B5-A4	3m51s
PN2	C4-C2-C3	2m49s	C4-C2-B6-B5-A4	3m46s
PN3	C4-C2-C3	2m44s	C4-C2-B6-B5-A4	3m41s
P8	C5-C4-C2	3m54s	C5-C4-C2-B6-B5-A4	4m51s
PS1	C7-C3	2m11s	C7-B6-B5-A4	3m09s
PS2	C7-C3	2m08s	C7-B6-B5-A4	3m06s
PS3	C7-C3	2m02s	C7-B6-B5-A4	3m02s
PS4	C7-C3	2m00s	C7-B6-B5-A4	2m58s
PS5	C7-C3	1m56s	C7-B6-B5-A4	2m54s
PW1	A1-A5-B4-B3	3m18s	A1-A2-A3	2m23s
PW2	A1-A5-B4-B3	3m14s	A1-A2-A3	2m19s
PW3	A1-A5-B4-B3	3m10s	A1-A2-A3	2m16s
PW4	A1-A5-B4-B3	3m23s	A9-A7-A8	2m18s
PW5	A1-A5-B4-B3	3m27s	A9-A7-A8	2m18s
PW6	A9-A6-A5-B4-B3	3m24s	A9-A7-A8	2m11s
PW7	A9-A6-A5-B4-B3	3m28s	A9-A7-A8	2m15s
PW8	A9-A6-A5-B4-B3	3m32s	A9-A7-A8	2m19s
PW9	A9-A6-A5-B4-B3	3m36s	A9-A7-A8	2m23s
PW10	A9-A6-A5-B4-B3	3m40s	A9-A7-A8	2m27s
PW11	A9-A6-A5-B4-B3	3m44s	A9-A7-A8	2m31s
PW12	A9-A6-A5-B4-B3	3m42s	A9-A7-A8	2m34s
P10N	A6-A5-B4-B3	3m03s	A7-A8	1m47s
P11	J5-J-H2-H1-A4-B4-B3	4m34s	J5-J-A8	3m01s
P12	A9-A6-A5-B4-B3	4m16s	A9-A7-A8	3m03s
P13	J6-J-H2-H1-A4-B4-B3	4m34s	J6-J-A8	3m01s
P14	J-H2-H1-A4-B4-B3	3m27s	J-A8	1m53s
P15	H2-H1-A4-B4-B3	3m20s	A8	1m49s

**Tableau 4.4 : Résultats de départ de tout les points de stationnement vers les points de décollage Piste 09 et Piste 23**

<b>Postes de stationnement</b>	<b>les taxiways vers Piste 09</b>	<b>temps estimé(s)3</b>	<b>les taxiways vers Piste 23</b>	<b>temps estimé(s)4</b>
PC1	A9-A7-J-J1	8m02s	B1-B6-D1-E1-F1-G	8m01s
PC2	A9-A7-J-J1	7m56s	C1-C2-D1-E1-F1-G	8m18s
PC3	A9-A7-J-J1	7m51s	C1-C2-D1-E1-F1-G	8m24s
PC4	A9-A7-J-J1	8m46s	C1-C2-D1-E1-F1-G	8m29s
PC5	A9-A7-J-J1	8m41s	B7-B6-D1-E1-F1-G	8m10s
PC6	A9-A7-J-J1	7m36s	B7-B6-D1-E1-F1-G	8m23s
PC7	A9-A7-J-J1	7m31s	B7-B6-D1-E1-F1-G	8m38s
PC8	A9-A7-J-J1	7m26s	B7-B6-D1-E1-F1-G	8m43s
PC9	A9-A7-J-J1	7m21s	B7-B6-D1-E1-F1-G	8m47s
PS6	B5-A4-H1-H2-J-J1	8m01s	B6-D1-E1-F1-G	7m48s
PS7	B5-A4-H1-H2-J-J1	7m52s	B6-D1-E1-F1-G	7m39s
PS8	B5-A4-H1-H2-J-J1	7m43s	B6-D1-E1-F1-G	7m19s
PS9	A4-H1-H2-J-J1	7m51s	B6-D1-E1-F1-G	8m09s
PS10	A4-H1-H2-J-J1	7m45s	B6-D1-E1-F1-G	8m02s
PS11	A4-H1-H2-J-J1	7m39s	B6-D1-E1-F1-G	7m56s
PS12	A4-H1-H2-J-J1	7m32s	B6-D1-E1-F1-G	7m50s
P(3, 4, 6)	C4-C2-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	8m30s	C4-C2-D1-E1-F1-G	7m42s
PE1	E3-E1-D1-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	10m47s	E3-F1-G	4m46s
PE2	E3-E1-D1-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	10m49s	E3-F1-G	4m54s
PE3	E3-E1-D1-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	10m51s	E3-F1-G	4m55s
PE4	E3-E1-D1-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	10m53s	E3-F1-G	4m56s
PE5	D3-D1-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	10m52s	E3-F1-G	4m57s
PE6	D3-D1-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	10m47s	E3-F1-G	4m58s
PE7	D3-D1-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	10m40s	E3-F1-G	4m59s
PE8	D3-D1-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	10m35s	E3-F1-G	5m38s
PE9	D3-D1-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	10m30s	E3-F1-G	5m43s
PE10	D3-D1-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	10m25s	E3-F1-G	5m48s
PE11	D3-D1-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	10m20s	E3-F1-G	5m53s
PE12	D3-D1-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	10m16s	E3-F1-G	5m58s
PN1	C4-C2-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	9m04s	C4-C2-D1-E1-F1-G	8m15s
PN2	C4-C2-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	8m59s	C4-C2-D1-E1-F1-G	8m11s
PN3	C4-C2-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	8m45s	C4-C2-D1-E1-F1-G	7m57s
P8	C5-C4-C2-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	9m55s	C5-C4-C2-D1-E1-F1-G	9m06s
PS1	C6-C2-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	8m28s	C6-C2-D1-E1-F1-G	7m39s
PS2	C6-C2-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	8m32s	C6-C2-D1-E1-F1-G	7m43s
PS3	C7-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	8m31s	C7-D1-E1-F1-G	7m44s
PS4	C7-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	8m27s	C7-D1-E1-F1-G	7m39s
PS5	C7-B6-B5-A4-H1-H2-J-J1	8m23s	C7-D1-E1-F1-G	7m36s



PW1	A9-A7-J-J1	6m39s	B7-B6-D1-E1-F1-G	8m28s
PW2	A9-A7-J-J1	6m35s	B7-B6-D1-E1-F1-G	8m26s
PW3	A9-A7-J-J1	6m31s	A1-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	8m25s
PW4	A9-A7-J-J1	6m27s	A1-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	8m28s
PW5	A9-A7-J-J1	6m27s	A1-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	8m32s
PW6	A9-A7-J-J1	6m31s	A1-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	8m36s
PW7	A9-A7-J-J1	6m35s	A1-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	8m40s
PW8	A9-A7-J-J1	6m39s	A1-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	8m44s
PW9	A9-A7-J-J1	6m42s	A1-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	8m48s
PW10	J11-J7-J-J1	6m23s	A1-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	8m52s
PW11	J11-J7-J-J1	6m28s	A1-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	8m55s
PW12	J11-J7-J-J1	6m33s	A1-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	8m59s
P10N	J11-J7-J-J1	6m32s	A9-A6-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	8m51s
P11	J4-J1	4m36s	J4-J-A7-A6-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	10m55s
P12	J11-J7-J-J1	6m32s	A9-A6-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	9m36s
P13	J6-J1	5m26s	J8-J12-A6-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	8m46s
P14	J8-J6-J1	5m35s	J8-J12-A6-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	9m31s
P15	J8-J6-J1	5m37s	J12-A6-A5-B5-B6-D1-E1-F1-G	8m54s

Donc dans les cinq tableaux (tableau 4.5; 4.6; 4.7; 4.8 et 4.9 ) les résultats obtenus des arrivées, qui comporte toute les sorties de piste (Piste05, Piste09, Piste23, Piste27, F2, E2, D2, D4, J2 et J3) vers tout les postes de stationnement (de parking 1 jusqu'à parking 15).

Par exemple dans la onzième ligne en trouve PS1 (qui veut dire poste de stationnement Sierra 1) le chemin optimal pour rejoindre la sortie de Piste 23 vers ce poste comporte les taxiways « G-F1-E1-D1-B6» avec une estimation de temps de « 8 minute 08seconde » pour traverser ce chemin.

N.B: On prend comme exemple de calcul le parking P11, donc on remarque qu'à partir de la sortie de piste 23 vers le parking P11 le temps estimé (11 minutes 15 secondes) est presque deux fois le temps ( 5 minutes 25 secondes) de la sortie de la piste 05 vers le même parking, car la distance entre la piste 23 et le parking P11 est plus grande que celle entre la piste 05 et le p11.

**Tableau 4.5 : Résultats d'arrivée des points de sortie de piste 05 et 23 vers tout les points de stationnement**

<b>Poste de stationnement</b>	<b>la sortie Piste 05 vers le poste de stationnement</b>	<b>temps estimé(s)</b>	<b>la sortie Piste 23 vers le poste de stationnement</b>	<b>temps estimé(s)2</b>
PC1	B3-B2-B1	2m39s	G-F1-E1-D1-B6-B1	8m21s
PC2	B3-B2-B1	3m03s	G-F1-E1-D1-C2-C1	8m38s
PC3	B3-B2-B1	3m08s	G-F1-E1-D1-C2-C1	8m44s
PC4	B3-B4-B7	3m11s	G-F1-E1-D1-C2-C1	8m49s
PC5	B3-B4-B7	2m49s	G-F1-E1-D1-B6-B7	8m30s
PC6	B3-B4-B7	3m02s	G-F1-E1-D1-B6-B7	8m43s
PC7	B3-B4-B7	3m17s	G-F1-E1-D1-B6-B7	8m58s
PC8	B3-B4-B7	3m22s	G-F1-E1-D1-B6-B7	9m03s
PC9	B3-B4-B7	3m26s	G-F1-E1-D1-B6-B7	9m07s
PS6	B3-B2	2m30s	G-F1-E1-D1-B6	8m08s
PS7	B3-B2	2m21s	G-F1-E1-D1-B6	7m59s
PS8	B3-B2	2m12s	G-F1-E1-D1-B6	7m49s
PS9	B3-B4	2m47s	G-F1-E1-D1-B6	8m29s
PS10	B3-B4	2m40s	G-F1-E1-D1-B6	8m22s
PS11	B3-B4	2m34s	G-F1-E1-D1-B6	8m16s
PS12	B3-B4	2m28s	G-F1-E1-D1-B6	8m10s
P(3, 4, 6)	C3-C2-C4	2m29s	G-F1-E1-D1-C2-C4	8m02s
PE1	C3-D1-E1-E3	4m00s	G-F1-E3	5m06s
PE2	C3-D1-E1-E3	4m41s	G-F1-E3	5m14s
PE3	C3-D1-E1-E3	4m42s	G-F1-E3	5m15s
PE4	C3-D1-E1-E3	4m43s	G-F1-E3	5m16s
PE5	C3-D1-D3	4m42s	G-F1-E3	5m17s
PE6	C3-D1-D3	4m37s	G-F1-E3	5m18s
PE7	C3-D1-D3	4m30s	G-F1-E3	5m19s
PE8	C3-D1-D3	4m25s	G-F1-E3	5m58s
PE9	C3-D1-D3	4m20s	G-F1-E3	6m03s
PE10	C3-D1-D3	4m16s	G-F1-E3	6m08s
PE11	C3-D1-D3	4m11s	G-F1-E3	6m13s
PE12	C3-D1-D3	4m06s	G-F1-E3	6m18s
PN1	C3-C2-C4	3m03s	G-F1-E1-D1-C2-C4	8m35s
PN2	C3-C2-C4	2m58s	G-F1-E1-D1-C2-C4	8m31s
PN3	C3-C2-C4	2m44s	G-F1-E1-D1-C2-C4	8m17s
P8	C3-C2-C4-C5	3m54s	G-F1-E1-D1-C2-C4-C5	9m26s
PS1	C3-C2-C6	2m27s	G-F1-E1-D1-C2-C6	7m59s
PS2	C3-C2-C6	2m30s	G-F1-E1-D1-C2-C6	8m03s
PS3	C3-C7	2m29s	G-F1-E1-D1-C7	8m04s
PS4	C3-C7	2m25s	G-F1-E1-D1-C7	7m59s
PS5	C3-C7	2m21s	G-F1-E1-D1-C7	7m56s
PW1	B3-B4-A5-A1	2m58s	G-F1-E1-D1-B6-B7	8m48s
PW2	B3-B4-A5-A1	2m54s	G-F1-E1-D1-B6-B7	8m46s
PW3	B3-B4-A5-A1	2m50s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	8m45s
PW4	B3-B4-A5-A1	2m54s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	8m48s

PW5	B3-B4-A5-A6-A9	2m57s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	8m52s
PW6	B3-B4-A5-A6-A9	3m00s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	8m56s
PW7	B3-B4-A5-A6-A9	3m04s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	9m00s
PW8	B3-B4-A5-A6-A9	3m08s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	9m04s
PW9	B3-B4-A5-A6-A9	3m12s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	9m08s
PW10	B3-B4-A5-A6-A9	3m16s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	9m12s
PW11	B3-B4-A5-A6-A9	3m20s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	9m15s
PW12	B3-B4-A5-A6-A9	3m23s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	9m19s
P10N	B3-B4-A5-A6-A9	3m12s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A6-A9	9m11s
P11	B3-B4-A5-A6-A7-J-J4	5m25s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A6-A7-J-J4	11m15s
P12	B3-B4-A5-A6-A9	3m51s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A6-A9	9m56s
P13	B3-B4-A5-A6-J12-J8	4m16s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A6-J12-J8	10m06s
P14	B3-B4-A5-A6-J12-J8	3m56s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A6-J12-J8	9m51s
P15	B3-B4-A5-A6-J12	3m19s	G-F1-E1-D1-B6-B5-A5-A6-J12	9m14s

**Tableau 4.6 : Résultats d'arrivée des points de sortie de piste 09 et 27 vers tout les points de stationnement**

Poste de stationnement	la sortie Piste 09 vers le poste de stationnement	temps estimé(s)	la sortie Piste 27 vers le poste de stationnement	temps estimé(s)2
PC1	J1-J-A7-A9	8m22s	A4-B5-B1	3m08s
PC2	J1-J-A7-A9	8m16s	A4-B7	3m15s
PC3	J1-J-A7-A9	8m11s	A4-B7	3m10s
PC4	J1-J-A7-A9	8m06s	A4-B7	3m05s
PC5	J1-J-A7-A9	8m01s	A4-B7	2m43s
PC6	J1-J-A7-A9	7m56s	A4-B7	2m56s
PC7	J1-J-A7-A9	7m51s	A8-A7-A9	2m52s
PC8	J1-J-A7-A9	7m46s	A8-A7-A9	2m48s
PC9	J1-J-A7-A9	7m41s	A8-A7-A9	2m43s
PS6	J1-J-H2-H1-A4-B5	8m21s	A4-B5	2m57s
PS7	J1-J-H2-H1-A4-B5	8m12s	A4-B5	2m48s
PS8	J1-J-H2-H1-A4-B5	8m03s	A4-B5	2m38s
PS9	J1-J-H2-H1-A4	8m11s	A4	2m47s
PS10	J1-J-H2-H1-A4	8m05s	A4	2m41s
PS11	J1-J-H2-H1-A4	7m59s	A4	2m35s
PS12	J1-J-H2-H1-A4	7m52s	A4	2m28s
P(3, 4, 6)	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C4	8m50s	A4-B5-B6-C2-C4	3m26s
PE1	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-E1-E3	11m07s	A4-B5-B6-D1-E1-E3	5m38s
PE2	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-E1-E3	11m09s	A4-B5-B6-D1-E1-E3	5m47s
PE3	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-E1-E3	11m11s	A4-B5-B6-D1-E1-E3	5m48s
PE4	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-E1-E3	11m13s	A4-B5-B6-D1-E1-E3	5m49s
PE5	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	11m12s	A4-B5-B6-D1-D3	5m48s
PE6	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	11m07s	A4-B5-B6-D1-D3	5m43s
PE7	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	11m00s	A4-B5-B6-D1-D3	5m36s
PE8	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	10m55s	A4-B5-B6-D1-D3	5m31s
PE9	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	10m50s	A4-B5-B6-D1-D3	5m26s

PE10	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	10m45s	A4-B5-B6-D1-D3	5m21s
PE11	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	10m40s	A4-B5-B6-D1-D3	5m16s
PE12	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	10m36s	A4-B5-B6-D1-D3	5m12s
PN1	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C4	9m24s	A4-B5-B6-C2-C4	4m00s
PN2	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C4	9m19s	A4-B5-B6-C2-C4	3m55s
PN3	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C4	9m05s	A4-B5-B6-C2-C4	3m41s
P8	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C4-C5	10m15s	A4-B5-B6-C2-C4-C5	4m51s
PS1	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C6	8m48s	A4-B5-B6-C2-C6	3m24s
PS2	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C6	8m52s	A4-B5-B6-C2-C6	3m27s
PS3	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-C7	8m51s	A4-B5-B6-C7	3m27s
PS4	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-C7	8m47s	A4-B5-B6-C7	3m23s
PS5	J1-J-H2-H1-A4-B5-B6-C7	8m43s	A4-B5-B6-C7	3m19s
PW1	J1-J-A7-A9	6m59s	A3-A2-A1	2m08s
PW2	J1-J-A7-A9	6m55s	A3-A2-A1	2m04s
PW3	J1-J-A7-A9	6m51s	A3-A2-A1	2m01s
PW4	J1-J-A7-A9	6m47s	A8-A7-A9	1m59s
PW5	J1-J-A7-A9	6m47s	A8-A7-A9	1m59s
PW6	J1-J-A7-A9	6m51s	A8-A7-A9	2m02s
PW7	J1-J-A7-A9	6m55s	A8-A7-A9	2m06s
PW8	J1-J-A7-A9	6m59s	A8-A7-A9	2m10s
PW9	J1-J-A7-A9	7m02s	A8-A7-A9	2m14s
PW10	J1-J-J7-J11	6m43s	A8-A7-A9	2m18s
PW11	J1-J-J7-J11	6m48s	A8-A7-A9	2m22s
PW12	J1-J-J7-J11	6m53s	A8-A7-A9	2m25s
P10N	J1-J-J7-J11	6m52s	A8-A7-A9	2m14s
P11	J1-J4	4m56s	A8-J-J4	3m56s
P12	J1-J-J7-J11	6m52s	A8-A7-A9	2m53s
P13	J1-J6	5m46s	A8-A7-J12	3m03s
P14	J1-J6-J8	5m55s	A8-A7-J12	2m43s
P15	J1-J6-J8	5m57s	A8-A7-J12	2m06s

**Tableau 4.7 : Résultats d'arrivée des points de sortie de piste F2 et E2 vers tout les points de stationnement**

<b>Poste de stationnement</b>	<b>la sortie F2 vers le poste de stationnement</b>	<b>temps estimé(s)</b>	<b>la sortie E2 vers le poste de stationnement</b>	<b>temps estimé(s)2</b>
PC1	F1-E1-D1-B6-B1	7m21s	E1-D1-B6-B1	6m21s
PC2	F1-E1-D1-C2-C1	7m38s	E1-D1-C2-C1	6m38s
PC3	F1-E1-D1-C2-C1	7m44s	E1-D1-C2-C1	6m44s
PC4	F1-E1-D1-C2-C1	7m49s	E1-D1-C2-C1	6m49s
PC5	F1-E1-D1-B6-B7	7m30s	E1-D1-B6-B7	6m30s
PC6	F1-E1-D1-B6-B7	7m43s	E1-D1-B6-B7	6m43s
PC7	F1-E1-D1-B6-B7	7m58s	E1-D1-B6-B7	6m58s
PC8	F1-E1-D1-B6-B7	8m03s	E1-D1-B6-B7	7m03s
PC9	F1-E1-D1-B6-B7	8m07s	E1-D1-B6-B7	7m07s
PS6	F1-E1-D1-B6	7m08s	E1-D1-B6	6m08s

PS7	F1-E1-D1-B6	6m59s	E1-D1-B6	5m59s
PS8	F1-E1-D1-B6	6m49s	E1-D1-B6	5m49s
PS9	F1-E1-D1-B6	7m29s	E1-D1-B6	6m29s
PS10	F1-E1-D1-B6	7m22s	E1-D1-B6	6m22s
PS11	F1-E1-D1-B6	7m16s	E1-D1-B6	6m16s
PS12	F1-E1-D1-B6	7m10s	E1-D1-B6	6m10s
P(3, 4, 6)	F1-E1-D1-C2-C4	7m02s	E1-D1-C2-C4	6m02s
PE1	F1-E3	4m06s	E3	3m06s
PE2	F1-E3	4m14s	E3	3m14s
PE3	F1-E3	4m15s	E3	3m15s
PE4	F1-E3	4m16s	E3	3m16s
PE5	F1-E3	4m17s	E3	3m17s
PE6	F1-E3	4m18s	E3	3m18s
PE7	F1-E3	4m19s	E3	3m19s
PE8	F1-E3	4m58s	E3	3m58s
PE9	F1-E3	5m03s	E3	3m03s
PE10	F1-E3	5m08s	E3	3m08s
PE11	F1-E3	5m13s	E3	4m13s
PE12	F1-E3	5m18s	E3	4m18s
PN1	F1-E1-D1-C2-C4	7m35s	E1-D1-C2-C4	6m35s
PN2	F1-E1-D1-C2-C4	7m31s	E1-D1-C2-C4	6m31s
PN3	F1-E1-D1-C2-C4	7m17s	E1-D1-C2-C4	6m17s
P8	F1-E1-D1-C2-C4-C5	8m26s	E1-D1-C2-C4-C5	7m26s
PS1	F1-E1-D1-C2-C6	6m59s	E1-D1-C2-C6	5m59s
PS2	F1-E1-D1-C2-C6	7m03s	E1-D1-C2-C6	6m03s
PS3	F1-E1-D1-C7	7m04s	E1-D1-C7	6m04s
PS4	F1-E1-D1-C7	6m59s	E1-D1-C7	5m59s
PS5	F1-E1-D1-C7	6m56s	E1-D1-C7	5m56s
PW1	F1-E1-D1-B6-B7	7m48s	E1-D1-B6-B7	6m48s
PW2	F1-E1-D1-B6-B7	7m46s	E1-D1-B6-B7	6m46s
PW3	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	7m45s	E1-D1-B6-B5-A5-A1	6m45s
PW4	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	7m48s	E1-D1-B6-B5-A5-A1	6m48s
PW5	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	7m52s	E1-D1-B6-B5-A5-A1	6m52s
PW6	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	7m56s	E1-D1-B6-B5-A5-A1	6m56s
PW7	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	8m00s	E1-D1-B6-B5-A5-A1	7m00s
PW8	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	8m04s	E1-D1-B6-B5-A5-A1	7m04s
PW9	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	8m08s	E1-D1-B6-B5-A5-A1	7m08s
PW10	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	8m12s	E1-D1-B6-B5-A5-A1	7m12s
PW11	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	8m15s	E1-D1-B6-B5-A5-A1	7m15s
PW12	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A1	8m19s	E1-D1-B6-B5-A5-A1	7m19s
P10N	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A6-A9	8m11s	E1-D1-B6-B5-A5-A6-A9	7m11s
P11	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A6-A7-J-J4	10m15s	E1-D1-B6-B5-A5-A6-A7-J-J4	9m15s
P12	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A6-A9	8m56s	E1-D1-B6-B5-A5-A6-A9	7m56s
P13	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A6-J12-J8	9m06s	E1-D1-B6-B5-A5-A6-J12-J8	8m06s
P14	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A6-J12-J8	8m51s	E1-D1-B6-B5-A5-A6-J12-J8	7m51s
P15	F1-E1-D1-B6-B5-A5-A6-J12	8m14s	E1-D1-B6-B5-A5-A6-J12	7m14s

**Tableau 4.8 : Résultats d'arrivée des points de sortie de piste D2 et D4 vers tous les point de stationnement**

<b>Poste de stationnement</b>	<b>la sortie D2 vers le poste de stationnement</b>	<b>temps estimé(s)</b>	<b>la sortie D4 vers le poste de stationnement</b>	<b>temps estimé(s)2</b>
PC1	D1-B6-B1	5m21s	D1-B6-B1	4m51s
PC2	D1-C2-C1	5m38s	D1-C2-C1	5m08s
PC3	D1-C2-C1	5m44s	D1-C2-C1	5m14s
PC4	D1-C2-C1	5m49s	D1-C2-C1	5m19s
PC5	D1-B6-B7	5m30s	D1-B6-B7	5m00s
PC6	D1-B6-B7	5m43s	D1-B6-B7	5m13s
PC7	D1-B6-B7	5m58s	D1-B6-B7	5m28s
PC8	D1-B6-B7	6m03s	D1-B6-B7	5m33s
PC9	D1-B6-B7	6m07s	D1-B6-B7	5m37s
PS6	D1-B6	5m08s	D1-B6	4m38s
PS7	D1-B6	4m59s	D1-B6	4m29s
PS8	D1-B6	4m49s	D1-B6	4m19s
PS9	D1-B6	5m29s	D1-B6	4m59s
PS10	D1-B6	5m22s	D1-B6	4m52s
PS11	D1-B6	5m16s	D1-B6	4m46s
PS12	D1-B6	5m10s	D1-B6	4m40s
P(3, 4, 6)	D1-C2-C4	5m02s	D1-C2-C4	4m32s
PE1	E1-E3	2m12s	E1-E3	1m42s
PE2	E1-E3	2m20s	E1-E3	1m50s
PE3	D3	2m19s	D3	1m49s
PE4	D3	2m14s	D3	1m44s
PE5	D3	2m12s	D3	1m42s
PE6	D3	2m07s	D3	1m37s
PE7	D3	2m00s	D3	1m30s
PE8	D3	1m55s	D3	1m25s
PE9	D3	1m50s	D3	1m20s
PE10	D3	1m46s	D3	1m16s
PE11	D3	1m41s	D3	1m11s
PE12	D3	1m36s	D3	1m06s
PN1	D1-C2-C4	5m35s	D1-C2-C4	5m05s
PN2	D1-C2-C4	5m31s	D1-C2-C4	5m01s
PN3	D1-C2-C4	5m17s	D1-C2-C4	4m47s
P8	D1-C2-C4-C5	6m26s	D1-C2-C4-C5	5m56s
PS1	D1-C2-C6	4m59s	D1-C2-C6	4m29s
PS2	D1-C2-C6	5m03s	D1-C2-C6	4m33s
PS3	D1-C7	5m04s	D1-C7	4m34s
PS4	D1-C7	4m59s	D1-C7	4m29s
PS5	D1-C7	4m56s	D1-C7	4m26s
PW1	D1-B6-B7	5m48s	D1-B6-B7	5m18s
PW2	D1-B6-B7	5m46s	D1-B6-B7	5m16s
PW3	D1-B6-B5-A5-A1	5m45s	D1-B6-B5-A5-A1	5m15s
PW4	D1-B6-B5-A5-A1	5m48s	D1-B6-B5-A5-A1	5m18s

PW5	D1-B6-B5-A5-A1	5m52s	D1-B6-B5-A5-A1	5m22s
PW6	D1-B6-B5-A5-A1	5m56s	D1-B6-B5-A5-A1	5m26s
PW7	D1-B6-B5-A5-A1	6m00s	D1-B6-B5-A5-A1	5m30s
PW8	D1-B6-B5-A5-A1	6m04s	D1-B6-B5-A5-A1	5m34s
PW9	D1-B6-B5-A5-A1	6m08s	D1-B6-B5-A5-A1	5m38s
PW10	D1-B6-B5-A5-A1	6m12s	D1-B6-B5-A5-A1	5m42s
PW11	D1-B6-B5-A5-A1	6m15s	D1-B6-B5-A5-A1	5m45s
PW12	D1-B6-B5-A5-A1	6m19s	D1-B6-B5-A5-A1	5m49s
P10N	D1-B6-B5-A5-A6-A9	6m11s	D1-B6-B5-A5-A6-A9	5m41s
P11	D1-B6-B5-A5-A6-A7-J4	8m15s	D1-B6-B5-A5-A6-A7-J4	7m45s
P12	D1-B6-B5-A5-A6-A9	6m56s	D1-B6-B5-A5-A6-A9	6m26s
P13	D1-B6-B5-A5-A6-J12-J8	7m06s	D1-B6-B5-A5-A6-J12-J8	6m36s
P14	D1-B6-B5-A5-A6-J12-J8	6m51s	D1-B6-B5-A5-A6-J12-J8	6m21s
P15	D1-B6-B5-A5-A6-J12	6m14s	D1-B6-B5-A5-A6-J12	5m44s

**Tableau 4.9 : Résultats d'arrivée des points de sortie de piste J2 et J3 vers tous les point de stationnement**

Poste de stationnement	la sortie J2 vers le poste de stationnement	temps estimé(s)	la sortie J3 vers le poste de stationnement	temps estimé(s)2
PC1	J-A7-A9	7m22s	J-A7-A9	5m52s
PC2	J-A7-A9	7m16s	J-A7-A9	5m46s
PC3	J-A7-A9	7m11s	J-A7-A9	5m41s
PC4	J-A7-A9	7m06s	J-A7-A9	5m36s
PC5	J-A7-A9	7m01s	J-A7-A9	5m31s
PC6	J-A7-A9	6m56s	J-A7-A9	5m26s
PC7	J-A7-A9	6m51s	J-A7-A9	5m21s
PC8	J-A7-A9	6m46s	J-A7-A9	5m16s
PC9	J-A7-A9	6m41s	J-A7-A9	5m11s
PS6	J-H2-H1-A4-B5	7m21s	J-H2-H1-A4-B5	5m51s
PS7	J-H2-H1-A4-B5	7m12s	J-H2-H1-A4-B5	5m42s
PS8	J-H2-H1-A4-B5	7m03s	J-H2-H1-A4-B5	5m33s
PS9	J-H2-H1-A4	7m11s	J-H2-H1-A4	5m41s
PS10	J-H2-H1-A4	7m05s	J-H2-H1-A4	5m35s
PS11	J-H2-H1-A4	6m59s	J-H2-H1-A4	5m29s
PS12	J-H2-H1-A4	6m52s	J-H2-H1-A4	5m22s
P(3, 4, 6)	J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C4	7m50s	J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C4	6m20s
PE1	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-E1-E3	10m07s	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-E1-E3	8m37s
PE2	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-E1-E3	10m09s	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-E1-E3	8m39s
PE3	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-E1-E3	10m11s	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-E1-E3	8m41s
PE4	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-E1-E3	10m13s	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-E1-E3	8m43s
PE5	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	10m12s	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	8m42s
PE6	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	10m07s	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	8m37s
PE7	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	10m00s	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	8m30s
PE8	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	9m55s	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	8m25s
PE9	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	9m50s	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	8m20s

PE10	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	9m45s	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	8m15s
PE11	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	9m40s	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	8m10s
PE12	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	9m36s	J-H2-H1-A4-B5-B6-D1-D3	8m06s
PN1	J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C4	8m24s	J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C4	6m54s
PN2	J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C4	8m19s	J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C4	6m49s
PN3	J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C4	8m05s	J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C4	6m35s
P8	J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C4-C5	9m15s	J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C4-C5	7m45s
PS1	J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C6	7m48s	J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C6	6m18s
PS2	J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C6	7m52s	J-H2-H1-A4-B5-B6-C2-C6	6m22s
PS3	J-H2-H1-A4-B5-B6-C7	7m51s	J-H2-H1-A4-B5-B6-C7	6m21s
PS4	J-H2-H1-A4-B5-B6-C7	7m47s	J-H2-H1-A4-B5-B6-C7	6m17s
PS5	J-H2-H1-A4-B5-B6-C7	7m43s	J-H2-H1-A4-B5-B6-C7	6m13s
PW1	J-A7-A9	5m59s	J-A7-A9	4m29s
PW2	J-A7-A9	5m55s	J-A7-A9	4m25s
PW3	J-A7-A9	5m51s	J-A7-A9	4m21s
PW4	J-A7-A9	5m47s	J-A7-A9	4m17s
PW5	J-A7-A9	5m47s	J-A7-A9	4m17s
PW6	J-A7-A9	5m51s	J-A7-A9	4m21s
PW7	J-A7-A9	5m55s	J-A7-A9	4m25s
PW8	J-A7-A9	5m59s	J-A7-A9	4m29s
PW9	J-A7-A9	6m02s	J-A7-A9	4m32s
PW10	J-J7-J11	5m43s	J-J7-J11	4m13s
PW11	J-J7-J11	5m48s	J-J7-J11	4m18s
PW12	J-J7-J11	5m53s	J-J7-J11	4m23s
P10N	J-J7-J11	5m52s	J-J7-J11	4m22s
P11	J4	3m56s	J4	2m26s
P12	J-J7-J11	5m52s	J-J7-J11	4m22s
P13	J6	4m46s	J6	3m16s
P14	J6-J8	4m55s	J6-J8	3m25s
P15	J6-J8	4m57s	J6-J8	3m27s

Nous avons ensuite extrait ses résultats à partir de MATLAB pour les transférer dans une application grâce à JAVA.

## 4.6 Conception de l'application

Notre application de Dijkstra sur MATLAB nous permet maintenant de voir plus loin. Nous avons voulu faciliter l'utilisation de nos résultats par le contrôleur et leur lecture par la création d'une application sur JAVA. Nous avons pris comme résultats les chemins reliant les postes de stationnement aux pistes de décollage ainsi que les sorties de pistes aux postes de stationnement.



### Interface de l'application :



Figure 4.13 : Interface de l'application sur JAVA

Le combobox de départ : on y inscrit le choix de notre point de départ. Il contient tous les points possibles de départ.

Le combobox arrivée : on y inscrit le choix de notre point d'arrivée. Il contient tous les points possibles d'arrivée.

Le bouton « afficher » : on l'utilise après avoir sélectionné notre point de départ ainsi que notre point d'arrivée pour afficher le combobox temps estimé et le combobox chemin.

Le combobox temps estimé : il donne l'estimation de temps entre le point de départ choisi et le point d'arrivée.

Le combobox chemin : il affiche les taxiways à emprunter pour aller du point de départ sélectionné au point d'arrivée.

### Exemple d'affichage :



Figure 4.14 : Exemple d'affichage de l'application

Si par exemple nous voulons connaître le chemin optimal entre le parking Papa Whisky 6 vers le point de décollage (piste 27). Le combobox chemin affiche donc les taxiways à utiliser (A9-A7-A8). Quant au combobox temps estimé, le temps estimé optimal du point de départ vers le point d'arrivée.

Nous obtenons ainsi tous les chemins les plus courts en matière de temps pour atteindre un point d'arrivée à partir d'un point de départ.

## **Conclusion**

Dans ce quatrième et dernier chapitre, nous avons d'abord parlé des paramètres utilisés pour la conception de l'algorithme de Dijkstra ainsi que les différentes données sur lesquelles notre travail a été basé, passant par les besoins de modélisation de l'aérodrome d'Alger Houari Boumediène.

Puis nous avons expliqué brièvement les étapes de l'utilisation de l'algorithme Dijkstra ainsi que la programmation qui a été faite, nous avons donc obtenu tous les résultats des chemins les plus courts en matière de temps pour atteindre un point d'arrivée à partir d'un point de départ, et le chemin optimal utilisé pour arriver à ce point avec une estimation de temps du chemin.

Finalement, nous avons exploité ces résultats sur une modeste application développée avec JAVA, elle nous a permis d'avoir les résultats affichés directement sur un écran et cela en exécutant des étapes simples, rapides et efficaces par les contrôleurs.

## Conclusion et perspectives

Ce travail avait comme objectif principal l'optimisation des mouvements des aéronefs sur les voies de circulation en utilisant l'algorithme de Dijkstra. Pour cela nous avons commencé par définir le concept des infrastructures aéroportuaires globales au niveau des aéroports.

Ensuite, nous avons choisi de détailler toute la structure de l'Aéroport International d'Alger Houari Boumediène où notre travail a été fait.

L'étude de l'optimisation des mouvements des aéronefs sur les voies de circulation nous a permis de montrer que le trafic au sol joue en effet un rôle capital dans le bon déroulement d'un vol. Qu'il s'agisse du retard induit par un trop long roulage ou par un conflit sol ou du manque d'adaptabilité des structures disponibles à l'aéronef par une prise de décision malheureuse et impertinente, le trafic au sol et les décisions qui l'entourent doivent suivre une gestion précise et efficace.

Il est donc nécessaire de tirer profit de cette phase car, si elle n'est pas optimale et organisée, elle peut s'avérer problématique voire dangereuse sur un plan sécuritaire. Ce qui nous a poussé à développer un programme de calcul, qui s'appuie sur l'algorithme de Dijkstra, il avait pour but de déterminer le chemin le plus court en termes de temps, autrement dit le chemin le plus rapide.

A partir des résultats du programme, nous avons observé que l'utilisation des voies de circulation avait un impact direct sur le temps de roulage des aéronefs entre les pistes et les postes de stationnement, les pistes et les portes d'embarquements et de débarquements et les parkings aussi.

D'une part, nous avons réussi à faire l'optimisation des mouvements des aéronefs au sol sur les voies de circulation en utilisant l'algorithme de Dijkstra, donc nous avons réussi à avoir le chemin le plus court en termes de temps, entre n'importe quel poste de stationnement et piste au niveau de l'aérodrome.

D'autre part, nous avons réussi à créer une application qui nous permet d'afficher ces résultats en utilisant une plateforme sur le logiciel JAVA qui nous a paru le plus adapté pour faciliter l'automatisation et l'affichage de notre travail.

Cette application va permettre:

- ✚ De gagner du temps avec plus de précision.
- ✚ De faciliter l'utilisation des voies de circulations.
- ✚ De diminuer la charge de travail pour les contrôleurs.

Finalement, nous pourrions dire que d'autres modifications pourront être faites pour optimiser l'algorithme et l'application, Il serait intéressant d'utiliser le radar de surface, donc nous proposons par exemple de rajouter une liaison entre l'algorithme et ce radar afin de permettre d'allumer les feux axiaux (dans le cas d'une mauvaise visibilité à cause des conditions météorologiques).

## Glossaire

**Aérodrome** : *nom masculin ; terrain aménagé pour le décollage et l'atterrissage des avions.*

**Aéronef** : *nom masculin ; didactique ; appareil capable de se déplacer dans les airs (avion, hélicoptère, aérostat ...).*

**Airside** : *nom anglais ; partie de l'aérodrome utilisée par les véhicules pour embarquer, débarquer, décoller et atterrir.*

**Aire de trafic** : *l'aire de stationnement ou air de trafic est la partie de l'aérodrome destinée au stationnement des appareils ainsi qu'à l'avitaillement et à l'embarquement des passagers ou du fret.*

**ASM** : *Air Space Management ; gestion de l'espace aérien.*

**SMGCS** : *Surface Movement Guidance and Control System; système de contrôle et de guidage de mouvements en surface.*

**A-SMGCS** : *Advanced-Surface Movement Guidance and Control System ; Système avancé de contrôle et de guidage de mouvements en surface.*

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

**CCR** : *Centre de Contrôle Régional, centre chargé d'assurer les services de la circulation aérienne au bénéfice des aéronefs en croisière (en dehors de la proximité d'aérodrome).*

**CFMU** : *Central Flow Management Unit ; l'unité de gestion et d'optimisation des flux aériens.*

**FIR** : *Flight Information Region ;région d'information de vol : c'est un espace aérien de dimensions définies à l'intérieur duquel le service d'information de vol et le service d'alerte sont assurés.*

**Follow-me** : *véhicule qui guide l'avion (anglais : « suis-moi »).*

**Hub** : *Plate-forme, dans un aéroport, réunissant des lignes en correspondance.*

**Jet Fuel** : *kérosène*

**Nose-in** : *cela désigne une position de stationnement près du terminal. Normalement, les appareils garent dans cette position par eux-mêmes, cependant, ils ont besoin d'être tractés pour démarrer et sortir (push-back).*

**TMA** : *Terminal Manoeuvring Area ou TMA, ou encore terminal control area (TCA) est un espace aérien réglementé destiné à protéger les vols en approche ou au départ d'un ou plusieurs aéroports.*

**UPPER FIR** : *région d'information de vol supérieure. Elle couvre uniquement l'espace aérien supérieur.*

## Références bibliographiques

- [1] ACI-« APEX Document de référence »-édition 2014.
- [2] Julien Guépet « Optimisation de la gestion des avions dans un aéroport : affectation aux points de stationnement, routage au sol et ordonnancement à la piste » 2016.
- [3]Annexe 14 de l'OACI – « *Aérodromes, Volume 1* » - Edition 2016.
- [4]Stoica, Dragos Constantin. “*Analyse, représentation et optimisation de la circulation des avions sur une plate-forme aéroportuaire*”, 2004.
- [5]Doc 9157– « partie 2Voies de circulations. Deuxième » – édition 1983
- [6] ABDELOUAHAB Mohames « L’Aéroport d’Alger se Modernise peut-il Accueillir l’Airbus A380 », Mémoire De Fin D’études, option: Exploitations Aériennes, Promoteur : Dr. BENKHEDDA Amina, Promotion 2013.
- [7] <http://infotraficalgerie.dz/actualites/reception-juillet-2018-de-nouvelle-aerogare-dalger/> consulté en Mars2018
- [8] « Manuel d’aérodrome Aéroport international d’Alger/Houari Boumediene » « service DSA » Janvier 2011.
- [9]AIP – « *Publications d’information aéronautique, Algérie, partie aérodromes* » consulté en Mars 2018.
- [10] DK NEWS, quotidienne national d’information, « une nouvelle aérogare internationale en 2018 », N°20(Mercredi 20 février 2013), P6-7.
- [11] Fichier AUTOCAD « Direction des infrastructures et des travaux », département études , plan de masse, édition 2014

[12] <http://www.futura-sciences.com/planete/actualites/developpement-durable-greentech-egts-fait-rouler-avions-electricite-47367/>, consulté en Avril 2018

[13] <http://www.20minutes.fr/economie/1174981-20130617-20130617-roulage-kerosene-enjeu-ecolo-marche-lucratif>, consulté en Avril 2018

[14] <http://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/fr/capacite-aeroportuaire/quest-ce-que-capacite-aeroportuaire>, consulté le 30 Mars 2018.

[15] ICAO- «*Manual of surface movement guidage and contro système (SMGCS)* »  
Edition--1986

[16] ICAO – « *Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (A-SMGCS) Manual* » - Approved by the Secretary General and published under his authority - First Edition — 2004 - International Civil Aviation Organization.

[17] Thierry Baccino, Catherine Bellino, Teresa Colombi, “*Mesure de l'utilisabilité des interfaces*”, 2005.

[18] DijkstraEdsger, « *A short introduction te the art of programming* », contenant l'article original décrivant l'algorithme de Dijkstra pp. 67-73, 1959.

[19] <https://fr.mathworks.com/help/matlab/ref/graph.shortestpathtree.html>, consulté en Avril 2018.

[20] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/fr/>, consulté en Avril 2018.



