



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la  
recherche scientifique

Université Larbi Tébessa - Tébessa

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département : Mathématiques et Informatique



كلية العلوم المحيطة وعلوم الطبيعة و الحياة  
FSES NV  
E=MC<sup>2</sup>  
FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES  
ET DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Mémoire de fin d'étude  
Pour l'obtention du diplôme de MASTER  
Domaine : Mathématiques et Informatique  
Filière : Informatique  
Option : Systèmes d'information  
Thème

**Planification des mouvements de surface à l'aéroport avec  
itinéraire Affectation selon l'approche FCFS (first come first serve).**

Présenté Par :

Haroun

Marwa

Devant le jury :

Mr. M. R. Laouar	Pr	Université Larbi Tébessa	Président
Mr. Djeddai Ala	MCB	Université Larbi Tébessa	Examineur
Mme. Ali Wided	MCB	Université Larbi Tébessa	Encadreur
Mme. Bouakkaz Fatima	MAA	Université Larbi Tébessa	Co-Encadreur

Date de soutenance : 21 juin 2021

# Résumé

**La croissance continue de la demande de transport aérien dépasse la capacité de L'infrastructure existante, ce qui entraîne habituellement des horaires de vol peu fiables, c'est-à-dire de longs retards de vol et des incertitudes quant aux heures d'arrivée/de départ. Nous nous attaquons au problème dans ce sujet en concevant un algorithme de contrôle de la circulation aérienne qui peut tenir compte à la fois du débit de l'aéroport et de la qualité du service en termes de retard de vol sur une piste donnée.**

**Dans ce travail, nous présenterons un ordonnanceur FCFS avancé pour la gestion intégrée des départs et des arrivées dans les aéroports. FCFS avancé grâce à laquelle il est possible de donner la priorité à l'identification et à la disposition des aéronefs d'atterrissage à l'aéroport**

# **Abstract**

**The continued growth in demand for air transport exceeds the capacity of the existing infrastructure, which usually leads to unreliable flight schedules, long flight delays and uncertainties about arrival/departure times. We are tackling the problem in this area by designing an air traffic control algorithm that can take into account both the airport's throughput and the quality of service in terms of flight delay on a given runway.**

**In this work, we will present an advanced FCFS scheduler for integrated management of departures and arrivals at airports. Advanced FCFS that gives priority to the identification and disposal of landing aircraft at the airport.**

## ملخص

النمو المستمر في الطلب على النقل الجوي يتجاوز قدرة البنية التحتية القائمة، والتي عادة ما

تؤدي إلى جداول رحلات لا يمكن الاعتماد عليها، أي تأخير الرحلات الجوية الطويلة وعدم اليقين

بشأن أوقات الوصول / المغادرة. نحن نعالج المشكلة في هذا المجال من خلال تصميم خوارزمية

مراقبة الحركة الجوية التي يمكن أن تأخذ في الاعتبار كل من إنتاج المطار وجودة الخدمة من حيث

تأخير الرحلات الجوية على مدرج معين.

في هذا العمل ، سنقدم جدولة FCFS متطورة للإدارة المتكاملة لحالات المغادرة والوصول في

المطارات FCFS المتقدمة والتي من خلالها تكون هناك إمكانية إدخال الأولوية في تحديد وترتيب

هبوط الطائرات في المطار .

## الأهداء

احمد الله عز وجل على منه وعونه لإتمام هذه المذكرة . الى الذي وهبني كل مايملك حتى احقق له اماله ,الى كل من كان يدفعني قدما نحو الامام لنيل المبتغى الى الانسان الذي إمتلك الانسانية بكل قوة , الى الذي سهر على تعليمي بتضحيات مترجمة في تقديسه للعلم , الى مدرستي الاولى في الحياة :أبي الغالي رحمه الله وأسكنه فسيح جناته.

الى التي وهبت فلذة كبدها كل العطاء و الحنان ,الى التي صبرت على كل شئ التي رعنتي حق الرعاية وكانت سندي في الشدائد , وكانت دعواتها لي بالتوفيق,تتبعني خطوة خطوة في عملي ,الى من إرتحت كلما تذكرت إبتسامتها في وجهي نبع الحنان أمني أعز ملاك على القلب والعين جزاها الله عني خير الجزاء في الدارين واطال الله في عمرها .

الى إخواني (طارق ,بوعلام , علي, هشام , محمد أيمن ) وخاصة الي إخي وأستاذي و سندي دائما (المهندس هارون رشيد) حفظهم الله , و رفقاء دربي بدونهم انا لا شئ اليهم أهدي هذا العمل المتواضع لكم أخواتي بالدم و القلب (صباح ,شيماء ) وأختي بالقلب (لبنى)

الى براعم العائلة صاحبة الوجه الجميل (لويزة سيلين الصغيرة )وصاحب الإبتسامة الجميلة (بناني الصغير )حفظهم الله

كما اهدي ثمرة جهدي لأستاذتي الكريمة : علي وداد التي كلما دب الياس في نفسي زرعت فيا الامل لإسير قدما و كلما سألت على معرفة زودتني بها و كلما طلبت كمية من وقتها الثمين و فرته لي بلرغم من مسؤولياتها المتعددة والي كل صديقاتي (لبنى , نجوى ,نسرين, ليلى , سهيلة , سلوى ,هاجر ,رباب ,مروة ) والي كل من يؤمن بأن بذور نجاح و التغيير هي في ذواتنا وفي أنفسنا قبل أن تكون في أشياء أخرى ...قال الله تعالى "إن الله لا يغير مايقوم حتى يغيروا ما بأنفسهم"

## شكر و عرفان

قال رسول الله صلى الله عليه و سلم

"من لا يشكر الناس لم يشكر الله"

الحمد لله على إحسانه والشكر له على توفقه وإمتنانه ونشهد أن لا إله الا الله وحده لا شريك له تعظيما لشانه ونشهد أن سيدنا ونبينا محمد عبده ورسوله الداعي الى رضوانه صلى الله على أله وأصحابه وأتباعه وسلم

بعد شكر الله سبحانه وتعالى على توفيقه لنا لإتمام هذا المشروع المتواضع أتقدم بزجيل الشكر الى الوالدة العزيزة والى روح أبي الغالي رحمة الله عليه والى كل إخواني الذين أعانوني وشجعوني على الاستمرار في مسيرة العلم والنجاح. وإكمال الدراسة الجامعية كما أتوجه بالشكر الى من شرفنتي باشرافها على مذكرة تخرجي الاستاذة "علي وداد" و"بوعاكر فطيمة" التي ساهما بشكل كبير في إتمام وإستكمال هذه المذكرة

كما أتوجه بخالص الشكر الى أعضاء اللجنة الكرام وكل من ساعدني من قريب أو من بعيد على إتمام هذا العمل .

# Table des matières

<b>Introduction générale</b> .....	1
1) problématique.....	1
2) Objectif.....	2
3) Structure de mémoire .....	2

## **Chapitre 01 : Le fonctionnement de l'aéroport**

Introduction .....	5
1) Les composants d'un aéroport .....	5
1.1) Aire de mouvement .....	5
1.1.1) Aire de manœuvre.....	6
o Les pistes.....	6
o Les voies de circulation .....	8
1.1.2) Les aires de trafics .....	9
1.2) Zone des installations .....	10
1.2.1) Zones d'exploitation .....	10
1.2.2) Zones d'activités industrielles.....	10
1.2.3) Zones spécialisées.....	11
1.2.4) D'autres installations .....	11
2) Les différents les acteurs du trafic sur l'aéroport .....	11
3) Le système aéroportuaire et sa capacité .....	13
Conclusion.....	13

## **Chapitre 02 : La gestion du trafic des avions au sol**

Introduction .....	15
1) Problèmes de gestion du trafic avion au sol.....	15
o Piste d'atterrissage et heure d'atterrissage prévu .....	15
o le poste ou l'aire de stationnement prévu .....	15

2) Outils automatisés de gestion de trafic.....	17
o SARIA .....	17
o MAESTRO .....	17
o Le SMA (Surface Movement Advisor) .....	17
3) Problèmes opérationnels de la circulation au sol des avions .....	17
3.1) Les Problèmes liés à la météorologie .....	18
3.2) Les problèmes liés aux performances des avions.....	19
4) Solution aux problèmes de la circulation des avions au sol.....	19
4.1) Manœuvre des aéronefs .....	19
4.2) Manœuvre des véhicules .....	20
5) L'analyse des problèmes de gestion de trafic au sol .....	20
5.1) La gestion des arrivées .....	21
5.1.1) Cas d'une seule piste d'atterrissage .....	21
5.1.2) Cas de plusieurs pistes d'atterrissage.....	21
5.2) La gestion des postes de stationnement.....	22
5.3) Le choix des cheminements.....	23
6) L'analyse des problèmes de gestion de trafic au sol .....	25
6.1) Considération générales.....	25
6.2) les systèmes de signalisation .....	26
6.3) les systèmes de localisation .....	28
6.4) les systèmes de communication.....	30
7) Exemple d'organisation du poste de contrôle du trafic au sol .....	31
7.1) les différentes fonctions associées au contrôle du trafic sol .....	21
7.2) les bandes de progression .....	34
8) gestion les aéroports .....	35
8.1) Un exemple de gestion aéroportuaire .....	35
9) Etat de l'art.....	43
Conclusion.....	44

## Chapitre 03 : Conception

Introduction .....	47
1) Présentation générale du système proposé .....	47
2) Identification les acteurs du système.....	49
3) Identification des classes participantes .....	50
4) Développement du model dynamique.....	52
5) les algorithmes proposés .....	60
5.1) Algorithme FCFS .....	60
5.2) Algorithme avancé (FCFS avancé) .....	62
Conclusion.....	65

## Chapitre 04 : Implémentation

Introduction .....	67
1) Atelier de Génie Logiciel .....	67
1.1) Langage de programmation .....	67
1.2) Framework d'application.....	68
1.3) Système de gestion de base de données.....	68
1.4) Enivrement du travail (le web server local).....	69
2) Démonstration des interfaces .....	69
2.1) Le rôle informaticien .....	71
2.1.1) La gestion de la site web (Design et Template).....	72
2.1.2) Gestions de ressources .....	76
2.2) Le rôle Contrôleur .....	81
2.3) Le rôle Superviseur.....	84
3) Expérimentations et résultats .....	88
3.1) Expérimentations 1 : minimiser le temps de retard .....	89
3.2) Expérimentations 2 : réduire la longueur de file d'attente .....	91
Conclusion.....	91

## Liste des figures

<b>Figure N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1.1</b>	Les composants de l'aéroport	<b>05</b>
<b>Figure 1.2</b>	La piste	<b>06</b>
<b>Figure 1.3</b>	Prolongement d'arrêt	<b>06</b>
<b>Figure 1.4</b>	Prolongement dégagé	<b>07</b>
<b>Figure 1.5</b>	la Tiroir, La bande aménagée et La bande dégagée, L'aire de sécurité	<b>07</b>
<b>Figure 1.6</b>	Les voies de circulation	<b>08</b>
<b>Figure 1.7</b>	Eléments constitutifs d'une aire de mouvement	<b>10</b>
<b>Figure 2.1</b>	Interdépendances entre problèmes de gestion et de contrôle du trafic au sol des aéronefs	<b>16</b>
<b>Figure 2.2</b>	Exemple de conflits entre avions dans la zone de stationnement	<b>23</b>
<b>Figure 2.3</b>	Les principaux types de conflits sur les voies de circulation	<b>24</b>
<b>Figure 2.4</b>	Les flux de trafic et la structure de contrôle d'un aéroport	<b>26</b>
<b>Figure 2.5</b>	Le balisage lumineux des voies de circulation et des pistes	<b>27</b>
<b>Figure 2.6</b>	Marquage des voies de circulation	<b>28</b>
<b>Figure 2.7</b>	Le diagramme du protocole de communication entre le contrôleur et le pilote	<b>31</b>
<b>Figure 2.8</b>	Exemple d'organisation de la tour de contrôle	<b>32</b>
<b>Figure 2.9</b>	Exemple de bande de progression	<b>34</b>
<b>Figure 2.10</b>	Arrivées en direct de l'aéroport d'Alger (www.aeroport-alger.com)	<b>36</b>
<b>Figure 2.11</b>	Départs en direct de l'aéroport d'Alger(www.aeroport-alger.com)	<b>37</b>
<b>Figure 2.12</b>	Services disponibles à l'aéroport d'Alger(www.aeroport-alger.com)	<b>38</b>

<b>Figure 2.13</b>	le site officiel de L'aéroport international d'Oran - Ahmed Ben Bella	<b>39</b>
<b>Figure 2.14</b>	Services & Commerces disponibles à L'aéroport International d'Oran - Ahmed Ben Bella	<b>40</b>
<b>Figure 2.15</b>	Guide voyageur disponibles à L'aéroport international d'Oran - Ahmed Ben Bella	<b>40</b>
<b>Figure 2.16</b>	le site officiel de L'Aéroport de Constantine dénommé « Mohamed Boudiaf »	<b>41</b>
<b>Figure 2.17</b>	Programme des vols de L'Aéroport de Constantine dénommé « Mohamed Boudiaf »	<b>42</b>
<b>Figure 2.18</b>	Informations de Sécurité et de Sûreté de L'Aéroport de Constantine dénommé « Mohamed Boudiaf »	<b>42</b>
<b>Figure 3.1</b>	Diagramme des classes générale du système	<b>48</b>
<b>Figure 3.2</b>	Diagramme des classes participantes du C.U. « <i>Etablir aéroport</i> »	<b>51</b>
<b>Figure 3.3</b>	Diagramme des classes participantes du C.U. « <i>Ajouter employé</i> »	<b>52</b>
<b>Figure 3.4</b>	Diagramme de séquence l'opération système « ajouter aéroport »	<b>54</b>
<b>Figure 3.5</b>	Diagramme de séquence l'opération système « modifier aéroport »	<b>55</b>
<b>Figure 3.6</b>	Diagramme de séquence l'opération système « supprimé aéroport »	<b>56</b>
<b>Figure 3.7</b>	Le rôle employé à " service informatique " et " Super Vision " et " Contrôler "	<b>58</b>
<b>Figure 3.8</b>	Diagramme de séquence l'opération système « authentification »	<b>59</b>
<b>Figure 3.9</b>	Diagramme de séquence l'opération système « <i>Ajouter employer</i> »	<b>60</b>
<b>Figure 3.10</b>	Diagramme de séquence l'opération système « Mode manuel (FCFS avancé) »	<b>65</b>
<b>Figure 4.1</b>	Page d'accueil	<b>69</b>
<b>Figure 4.2</b>	Page les informations de la réservation	<b>70</b>
<b>Figure 4.3</b>	Authentification	<b>71</b>
<b>Figure 4.4</b>	le rôle indiqué à l'utilisateur.	<b>71</b>
<b>Figure 4.5</b>	le Dashboard du service informatique	<b>72</b>
<b>Figure 4.6</b>	le model que suivre pour proposer une Template	<b>73</b>
<b>Figure 4.7</b>	choisi slider	<b>74</b>
<b>Figure 4.8</b>	Page les informations de l'ajouter « Slider »	<b>74</b>

<b>Figure 4.9</b>	Page les informations de « slider »	<b>75</b>
<b>Figure 4.10</b>	l'ajouter les informations	<b>76</b>
<b>Figure 4.11</b>	les informations de l'ajouter employée	<b>76</b>
<b>Figure 4.12</b>	affichage liste les employées	<b>77</b>
<b>Figure 4.13</b>	les informations de l'ajouter département	<b>77</b>
<b>Figure 4.14</b>	affichage liste les départements	<b>78</b>
<b>Figure 4.15</b>	les informations de l'ajouter aéroport	<b>78</b>
<b>Figure 4.16</b>	affichage liste les aéroports	<b>79</b>
<b>Figure 4.17</b>	les informations de l'ajouter bloc de l'aéroport	<b>80</b>
<b>Figure 4.18</b>	les informations de l'ajoute les avions	<b>80</b>
<b>Figure 4.19</b>	affichage liste les avions	<b>81</b>
<b>Figure 4.20</b>	Dashboard du Contrôleur	<b>82</b>
<b>Figure 4.21</b>	les informations de l'ajoute les vols	<b>83</b>
<b>Figure 4.22</b>	Sélection de l'aéroport départeur	<b>83</b>
<b>Figure 4.23</b>	Sélection de l'aéroport arriva	<b>83</b>
<b>Figure 4.24</b>	affichage liste les vols	<b>84</b>
<b>Figure 4.25</b>	représente l'état de chaque piste	<b>85</b>
<b>Figure 4.26</b>	Préparé et sélection du mode	<b>85</b>
<b>Figure 4.27</b>	Sélection du mode automatique	<b>86</b>
<b>Figure 4.28</b>	Sélection du mode manuel	<b>87</b>
<b>Figure 4.29</b>	affichage Alertes de module	<b>88</b>
<b>Figure 4.30</b>	Comparaison du temps de retard total (en seconde) entre le FCFS, et FCFS avancé	<b>90</b>
<b>Figure 4.31</b>	les retards d'avions en utilisant FCFS traditionnel	<b>90</b>
<b>Figure 4.32</b>	les retards d'avions en utilisant FCFS avancé	<b>90</b>
<b>Figure 4.33</b>	comparaison de la longueur de file d'attente entre FCFS	<b>91</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 2.1</b>	La classification des senseurs	<b>28</b>
<b>Tableau 3.1</b>	Éléments la règle circuit d'attente	<b>61</b>
<b>Tableau 4.2</b>	Résultats de calcul	<b>89</b>

# Introduction Générale

Le transport aérien joue un rôle important dans le développement économique mondial que le monde connaît aujourd'hui.

Au cours des prochaines décennies, si les tendances actuelles sont suivies, le trafic aérien mondial pourrait doubler. Le contrôle du trafic aérien et la structure opérationnelle actuels ne peuvent faire face à cette croissance. La limite du flux de trafic aérien et des activités aéroportuaires est presque atteinte Europe, États-Unis et Japon.

De nombreux aéroports dans le monde sont au bord de la saturation, et le moindre incident peut conduire au chaos, ce qui aura un effet négatif considérable sur tous les transporteurs aériens.

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

Depuis plus d'une décennie, les autorités ont lancé des études et des programmes de recherche pour améliorer les conditions de circulation.

Le premier sujet abordé est le trafic aérien : navigation par satellite, séparation réduite et communication par liaison de données (liaison de données), ce qui promet d'augmenter considérablement la capacité du système de contrôle du trafic.

Au cours des dernières années, les autorités se sont de plus en plus intéressées aux questions liées à l'amélioration du trafic aérien au sol. En fait, il est devenu l'un des principaux facteurs limitant la capacité des plates-formes aéroportuaires. Maintenant, nous nous rendons compte que ce n'est qu'en considérant directement le problème de l'amélioration considérable des conditions de trafic au sol que nous pourrions nous adapter au flux de trafic futur. N'oubliez pas, pour les compagnies aériennes et les passagers, les vols commencent à voie de circulation de l'aéroport.

## 1.Problématique

La croissance du trafic aérien à causer des congestions et des retards de vol dans les aéroports et l'espace aérien environnant. En effet, la capacité limitée des aéroports est le principal goulot d'étranglement du système de gestion du trafic aérien. Ce qui entraîne habituellement des horaires de vol peu fiables, c'est-à-dire de longs retards de vol et des incertitudes quant aux heures d'arrivée/de départ.

Une planification et un contrôle efficaces sont essentiels pour améliorer l'efficacité des opérations aéroportuaires et réduire les retards de vol. Dans des études antérieures, plusieurs sous problèmes liés aux opérations aéroportuaires ont été étudiés séparément, tels que le séquençement des pistes, les mouvements au sol, la gestion de l'espace aérien terminal.

Dans cette mémoire, on aborde le problème de gestion du trafic des avions au sol. L'objectif ici est de développer un système d'aide à la décision destiné à seconder les contrôleurs de trafic dans leurs activités de gestion.

Pour résoudre ce problème, nous le modélisons comme un problème d'ordonnancement des tâches, où les pistes et les avions sont considérés comme des machines et des tâches. Plusieurs méthodes ont été proposées pour résoudre ce problème : la plus simple et la plus répandue est d'appliquer des stratégies du type FCFS (premier arrivé, premier servi) aux avions prêts au parking ou qui se présente en sortie de piste pour atteindre ces postes.

En général, l'algorithme FCFS du premier arrivé, premier servi est la technique la plus courante que les contrôleurs utilisent pour séquencer les aéronefs. Bien que cette approche soit suffisamment juste pour maintenir l'équité de la programmation, le FCFS ne considère pas le critère le plus utile pour réduire la congestion et ne fait pas utilisation efficace de la capacité aéroportuaire en raison de son exigence d'espacement élevé et il n'a pas tenir compte des priorités des compagnies aériennes parmi les vols individuels.

Donc, notre objectif est le développement d'une nouvelle séquence et d'un FCFS amélioré qui tiennent compte des préférences des compagnies aériennes.

## **2. Objectif**

- Etat de l'art sur la gestion du trafic des avions au sol
- Proposition d'un ordonnanceur FCFS pour améliorer l'ordonnancement des avions sur les pistes, en utilisant une version améliorée de l'algorithme FCFS.
- Développement d'une application pour la gestion de l'attente des avions devant les pistes et le calcul des séquences ou notre objectif consiste à minimiser les temps d'attente devant les pistes et réduire le retard de vol.
- Comparaison l'algorithme FCFS amélioré avec FCFS traditionnel.

## **3. Structure de mémoire**

Notre mémoire est présentée en 04 Chapitres.

### **L'Introduction général**

### **Chapitre01 Le fonctionnement de l'aéroport :**

L'objectif de ce chapitre est principalement de présenter les composants de l'aéroport. Ainsi, les acteurs du trafic aéroportuaire avec leurs objectifs respectifs sont décrits.

### **Chapitre02 La gestion du trafic des avions au sol :**

Dans ce chapitre on aborde de façon globale les problèmes de gestion et de contrôle du trafic des avions au sol, également les solutions aux problèmes de la circulation des avions au sol.

### **Chapitre03 conception :**

Dans ce chapitre, nous allons parler en détail des premières étapes de notre application, la conception est une étape essentielle et critique pour la production d'une application de haute qualité

### **Chapitre03 implémentation :**

Dans ce chapitre, nous décrivons en détail les étapes de notre application, et montrer les outils utilisés à ce stade de la mise en place de notre application, et à la fin, nous allons faire une Comparaison l'algorithme FCFS amélioré avec FCFS traditionnel

### **Conclusion générale**

# **Chapitre 01**

**Le fonctionnement de l'aéroport**

## Introduction

Au cours des dix dernières années, le trafic aérien mondial a continué de croître, il existe également de nombreuses prédictions optimistes pour les prochaines années. Des acteurs du monde de l'aviation face à des problèmes croissants de sécurité, d'efficacité et de capacité gros. Le transport aérien est devenu un rôle clé dans le développement économique où l'aéroport est considéré comme l'axe terrestre principal et réel pour l'avancement de ce développement afin que le plus faible accident dû à un dysfonctionnement mineur dans le fonctionnement de l'aéroport puisse conduire à une situation chaotique.

L'objectif de ce chapitre est principalement de présenter les composants de l'aéroport. Ainsi, les acteurs du trafic aéroportuaire avec leurs objectifs respectifs sont décrits.

### 1) Les composants d'un aéroport

L'aéroport est un système dynamique qui permet de gérer les aéronefs, les piétons, Bagages et véhicule via le sous-système de liaisons. L'aéroport se compose de deux parties principales : l'aire de mouvement et les zones des Installations. La Figure 1.1 présente les composants de l'aéroport.



**Figure 1.1:** les composants de l'aéroport [www.reamenagement-nantes-atlantique]

#### 1.1) Aire de mouvement

Une partie d'un aéroport utilisée pour le décollage, l'atterrissage, le roulage et la circulation des aéronefs, qui comprend la zone de manœuvre et les aires de trafic.

### 1.1.1) Aire de manœuvre

Partie d'un aérodrome à utiliser pour les décollages, les atterrissages et la circulation des aéronefs à la surface excluant des aires de trafic et qui comprend les pistes et les voies de circulation (taxiways).

#### o Les pistes

La piste est la surface réservée au décollage et à l'atterrissage des aéronefs. Leurs caractéristiques, longueur et largeur, revêtement et résistance sont liés aux caractéristiques et aux performances de l'aéronef utilisant l'aéroport (essentiellement la qualité et la vitesse de décollage et d'atterrissage). Le type de piste dépend des caractéristiques du train d'atterrissage de l'avion il peut y avoir des pistes en herbe réservées aux planeurs et aux avions légers, ainsi que des pistes revêtues pour les avions plus lourds. Le nombre de pistes dépend de la direction du vent dominant et de l'intensité du trafic.



Figure 1.2 : La piste[[www.aeronevstv.com](http://www.aeronevstv.com)]

– *Prolongement d'arrêt* est nous appelons l'extension d'arrêt la partie du terrain coaxiale à la piste, adjacente à l'une des pistes Ses extrémités sont les mêmes que la largeur de la piste. Il est organisé de manière à permettre L'avion roule et passe occasionnellement la fin de la piste sans A subi des dommages, l'action de décollage a été interrompue. Ce type d'action est également appelé Manœuvres d'accélération-arrêt.



Figure 1.3 : Prolongement d'arrêt[[www.lavionnaire.fr](http://www.lavionnaire.fr)]

– **Prolongement dégagé** est Une partie du terrain (éventuellement la zone aquatique) est appelée zone d'extension sans obstacle, Coaxial avec la piste, près d'une extrémité, s'il y a une extension de bloc, il fusionne avec l'extension de bloc existant. Il ne comporte aucun obstacle pouvant présenter un danger pour l'aéronef volant à basse altitude à la fin de l'exercice de décollage. Quand il y a un trottoir, la piste On dit qu'il est enduit. Il peut alors inclure une plusieurs extensions appelées raquettes tourner autour Ils aident l'avion à faire demi-tour et à manœuvrer.



Figure 1.4 : Prolongement dégagé[www.lavionnaire.fr]

– **la Tiroir** est L'extrémité de la piste peut être incompatible avec le seuil de piste, la limite est parallèle À la fin, le défilement en dessous est interdit. Nous disons que dans ce cas, Le seuil a changé. La portion de piste entre le seuil de décalage et l'extrémité de la piste est Ça s'appelle un tiroir.

– **La bande aménagée** est dans le cas d'une piste goudronnée, la piste, l'environnement environnant et l'extension d'arrêt constituent Dans l'ensemble, la ceinture d'aménagement paysager. Pour les pistes non goudronnées, confondez-les avec les pistes Ceinture verte.

– **La bande dégagée** est une bande ouverte ou une bande plus simple est utilisé pour spécifier une zone rectangulaire et combiner Bandelettes de test qui ont été développées et extensions claires des bandelettes de test existantes, et ne comprennent pas L'absence d'obstacles peut mettre en danger les aéronefs volants à basse altitude.

– **L'aire de sécurité d'extrémité de piste** est la zone de sécurité à l'extrémité de la piste est appelée la zone près de l'extrémité de la piste À l'extérieur, il est symétrique par rapport au prolongement de l'axe de piste, et Principalement pour réduire le risque de perte de biens en cas de chute de l'avion Atterrira trop court ou passera l'extrémité de la piste.



Figure 1.5 : la Tiroir, La bande aménagée et La bande dégagée, L'aire de sécurité

○ **Les voies de circulation**

Les voies de circulation sont un groupe de voies qui relient différentes parties de la zone sportive. Ils permettent à l'aéronef de passer d'une de ces pièces à une autre. On distingue généralement les voies de circulation suivantes :

- *l'entrée-sortie de piste* permettant aux aéronefs d'accéder à la piste ou de la quitter ;
- *les voies de relation* permettant le déplacement des aéronefs entre les entrées-sorties de piste et les aires de stationnement. [1]

Lorsque des routes de connexion bordent ou croisent des aires de stationnement, elles deviennent des routes de service. Ensuite, ils font partie du tablier.



**Figure 1.6** : Les voies de circulation[www.wikiwand.com]

– *La voie de sortie rapide* : Il convient aux avions voyageant à grande vitesse à la fin de l'atterrissage. Il est conçu à la suite de l'entrée et de la sortie de la piste.

– *Le point d'arrêt* : Un point d'arrêt est une limite qu'un avion ne peut franchir que si certaines précautions ou permis sont pris. Par conséquent, le point d'arrêt spécifique constitue l'extrémité amont.

– *L'aire d'attente* : En particulier, une zone d'attente peut être aménagée à proximité de la place de parking avant l'entrée de la piste. Il permet à l'aéronef de s'arrêter sans bloquer le mouvement des autres aéronefs.

-*Les raquettes* : Les raquettes sont des zones disposées en forme d'arc. Ils ont laissé l'avion faire demi-tour. Lorsque l'aéroport n'a pas de pistes parallèles, des bottes de neige doivent être installées.

### 1.1.2) Les aires de trafics

L'aire de trafic est conçue pour recevoir les aéronefs lors d'une escale. Ils comprennent les voies de service bordant ou traversant l'aire de stationnement et le terrain de stationnement.

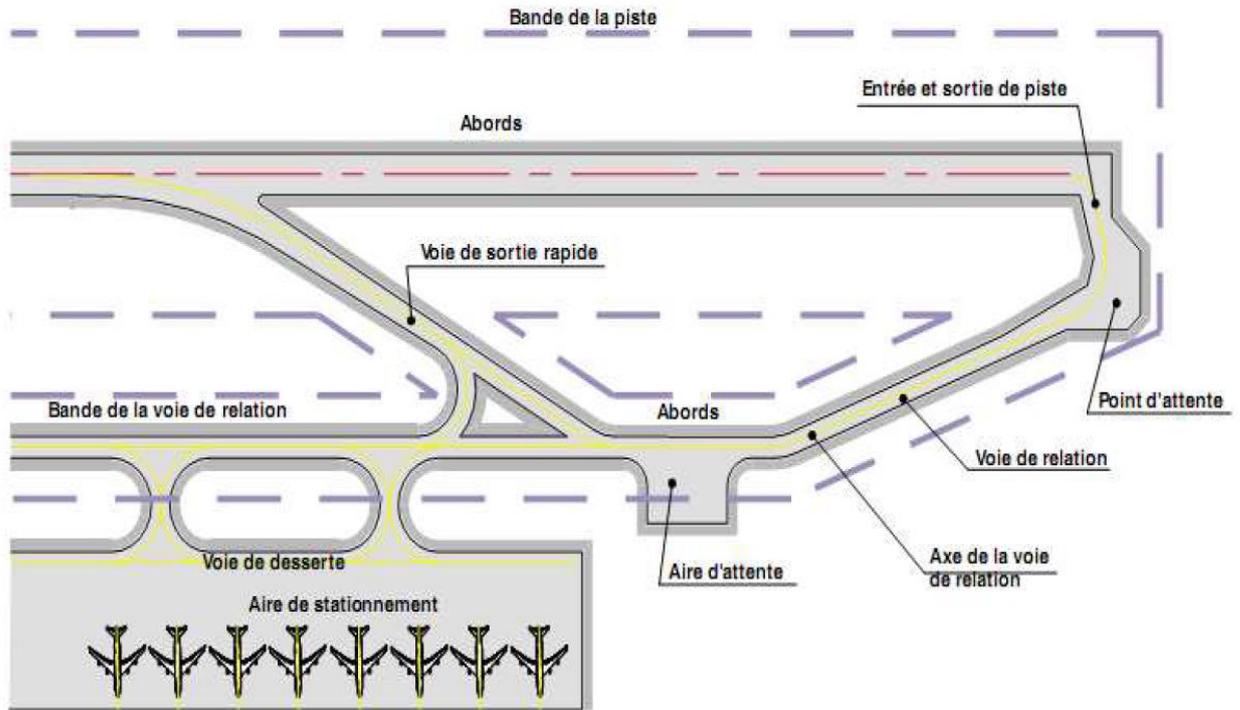
Les tabliers peuvent être distingués des manières suivantes en fonction de leurs fonctions :

-*Aire de trafic du terminal passager* qui est une zone de manœuvre désignée, Aire de stationnement pour avions où les passagers peuvent embarquer et s'enregistrer un atterrissage. Cette zone peut également être utilisée pour le ravitaillement, l'entretien des avions ou pour Chargement et déchargement de la cargaison, du courrier et des bagages

- *Tablier de la station* de manutention des marchandises parfois adjacente à la station de manutention des marchandises Les aéronefs qui ne transportent que du fret ou du courrier.

-*La zone de garage* fait référence à la zone utilisée pour le stationnement des avions dans un certain laps de temps Lieux non utilisés à des fins commerciales. Cependant, la zone du garage peut être La contribution du trafic aux heures de pointe doit donc être conçue en conséquence. En revanche, l'équipement utilisé à cet effet peut être simplifié.

-*La zone de maintenance* installée sur un grand aéroport commercial en haut de la ligne de production. Naturellement, ces services doivent être combinés pour vérifier la conception de la zone. Cependant, il est généralement théorique de regrouper ces quatre types en une seule catégorie en raison de la spécialisation de ces domaines. Cela dépend de la taille de l'aéroport. Dans les petits et moyens aéroports, la même zone Plusieurs fonctions peuvent être exécutées.



**Figure 1.7 :** Eléments constitutifs d'une aire de mouvement

## 1.2) Zone des installations

Elles sont situées à proximité des aires de trafic et sont, en général, regroupées par zones d'activités semblables.

### 1.2.1) Zones d'exploitation

Ces zones comprennent les ouvrages destinés à l'exploitation de l'aérodrome :

- **Exploitation commerciale** : aérogare passagers, aérogare de fret, commissariat hôtelier, matériel de piste, parcs à véhicules, dépôts de carburant, etc.
- **Exploitation technique** : bloc technique et vigie, moyens généraux de l'aérodrome, service incendie, centrale électrique et parcs à véhicules correspondants.

### 1.2.2) Zones d'activités industrielles

Les zones d'activités industrielles regroupent les ouvrages nécessaires à l'entretien et aux réparations d'aéronefs, éventuellement même à la construction aéronautique. Elles peuvent aussi abriter des industries qui fabriquent des matériels destinés à l'exportation et qui ont besoin d'un entrepôt sous douane. [1]

### 1.2.3) Zones spécialisées

Ce sont des zones utilisées par un des affectataires de l'aérodrome (organismes chargés de l'administration générale de l'aérodrome) ou pour une activité spécifique, par exemple : zone militaire (armée de l'air, de terre ou aéronavale) et zone pour la sécurité civile et zone d'aviation générale (monomoteur, planeurs, etc.). [1]

### 1.2.4) D'autres installations

Elles sont dispersées en divers endroits de l'aérodrome, en fonction de leur utilisation. Ce sont notamment :

- *les installations de balisage*
- *les postes de transformation et les émetteurs de radionavigation*, tels qu'ILS (Instrument Landing System), radiobornes, VOR (VHF Omnidirectional Radiorange)
- *les installations de mesures météorologiques et les réseaux divers (voirie, eaux usées, eau potable, câbles électriques, etc.).* [1]

## 2) Les différents les acteurs du trafic sur l'aéroport

Plusieurs acteurs ont participé au fonctionnement de l'aéroport. Les principaux acteurs sont :

- D'une part, *les autorités aéroportuaires et les contrôleurs du trafic au sol*
- D'autre part, *les compagnies aériennes et les pilotes*

Certaines personnes sont chargées de définir l'offre de service (autorité aéroportuaire), et sa mise en œuvre (contrôleur), d'autres sont responsables des demandes de service (Compagnie aérienne) et sa mise en œuvre (pilote).

#### ○ **Autorités aéroportuaires**

Le rôle de l'autorité aéroportuaire dans le trafic aéroportuaire est de veiller à ce que l'infrastructure au sol à long, moyen et court terme soit suffisante pour permettre aux aéronefs de circuler sur la plate-forme aéroportuaire. Par conséquent, la plupart de leurs activités sont liées à la planification de la capacité des plates-formes aéroportuaires, d'autres activités sont dédiées à des activités d'expansion ou de redéploiement, et enfin d'autres activités sont dédiées à la maintenance des équipements.

○ **Contrôleur**

Le rôle du contrôleur est de maximiser l'utilisation du flux installé. L'aéroport gère la fluidité du trafic en privilégiant la sécurité et la ponctualité. Cela signifie qu'ils doivent être capables de :

- Trouver tous les avions et véhicules en mouvement sur la plate-forme aéroport.
- Guider l'avion (dans le réseau de trafic aéroportuaire entre la piste et le parking).
- Gestion de tout problème lié au système de contrôle survenant sur la plate-forme Transport terrestre (des pannes d'éclairage aux incursions sur piste).

○ **Compagnies aériennes**

Toutes ces entreprises de l'Est fournissent régulièrement des liaisons directes entre les villes du monde entier et doivent développer des destinations pour leurs clients, elles doivent donc investir dans des avions de service du type et des capacités qui correspondent aux caractéristiques du marché cible. C'est donc le succès du transport aérien à moyen et long terme qui a conduit à la prolifération des compagnies aériennes et à l'expansion des flottes d'aéronefs. Ainsi, ils interviennent à moyen et long terme, principalement pour fixer les paramètres requis par les services de transport aérien au sol.

○ **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 :

- communiquer avec le système de contrôle de trafic au sol (« la tour »),
- suivre les instructions des contrôleurs de trafic,
- se localiser précisément sur la plate-forme aéroportuaire,
- éviter toute collision avec d'autres aéronefs, véhicules et autres obstacles,
- éviter toute excursion piste ou taxiway quelles que soient les conditions météorologiques et de visibilité [2].

### **3) Le système aéroportuaire et sa capacité**

Avec la création de l'OACI, les premiers groupes de travail abordant ce domaine ont très vite conclu qu'une gestion efficace des mouvements aéroportuaires passait par la création d'un véritable « système » de contrôle du trafic au sol mettant en relation les contrôleurs, les pilotes et les autres agents intervenant sur la plate-forme, a fait l'objet des nombreuses études, notamment avec l'accroissement du trafic et l'extension des voies de circulation et des zones de stationnement sur les grands aéroports. Aujourd'hui ce type de système n'est implémenté formellement que partiellement sur quelques aéroports. Les principales fonctions associées à ce système sont :

- **La fonction Surveillance**

La fonction Surveillance doit permettre d'accompagner l'évolution du trafic au sol et d'évaluer la situation courante du trafic.

- **La fonction Planning opérationnel**

La fonction Planning opérationnel 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.

- **La fonction Routage**

La fonction Routage génère des consignes de guidage à partir du plan d'action, pour les pilotes qui devront les exécuter [2].

### **Conclusion**

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à quelques notions de bases sur le fonctionnement de l'aéroport. Nous avons pu constater que la gestion du trafic des avions au sol représente un défi pour les chercheurs et les développeurs, ce défi est lié à la particularité de ces aéroports, en particulier les grands aéroports. À cet égard, ce problème sera abordé dans le chapitre suivant.

# Chapitre 02

## La gestion du trafic des avions au sol

## **Introduction**

Le trafic aérien dans tous les grands aéroports du monde a considérablement augmenté. Menant aux pistes, voies de circulation, stationnement, décollage, atterrissage d'avions et de divers véhicules. C'est ça le besoin de fournir de plus en plus de systèmes pour les contrôleurs augmenter constamment à jour la situation générale de l'aéroport (Radar de surveillance, détecteurs et capteurs, système de positionnement par satellite À bord, etc.).

Dans ce chapitre on aborde de façon globale les problèmes de gestion et de contrôle du trafic des avions au sol, également les solutions aux problèmes de la circulation des avions au sol.

### **1) Problèmes de gestion du trafic avion au sol**

La gestion du trafic des aéronefs au sol comprend la prise de décisions tactiques, un cadre opérationnel sera défini pour le contrôle du trafic au sol. Également lié à cela gestion des arrivées et des départs. À partir d'informations sur la situation actuelle, prévision de flux, qui est la définition ou l'ajustement de redéfinition mouvement de l'aéronef au sol. Afin de gérer les arrivées, les informations suivantes doivent être fournies sur chaque avion

à l'arrivée :

- **Piste d'atterrissage et heure d'atterrissage prévu**

Ces informations sont fournies par le système de contrôle du trafic aérien, qui coopère avec le système de gestion au sol pour fournir une solution en ligne au problème (problème P0). Sa précision, en particulier au moment de l'atterrissage, dépend en grande partie de la plage de prévision.

- **le poste ou l'aire de stationnement prévu**

Ces informations peuvent être fournies par la compagnie aérienne exploitant l'aéronef, ou par le système de gestion du trafic. Par conséquent, il peut être nécessaire de choisir d'abord un poste de stationnement (Problème P1), ensuite déterminer l'itinéraire entre le départ de piste et celui-ci (Problème P2).

Afin de gérer les départs, les informations suivantes doivent être fournies sur chaque avion au départ :

*- poste de stationnement*

*-heure de départ programmée*

Ces informations peuvent être obtenues auprès de la compagnie aérienne et doivent être regroupés au niveau du système de gestion du trafic au sol. Les problèmes de décision à résoudre sont les suivants :

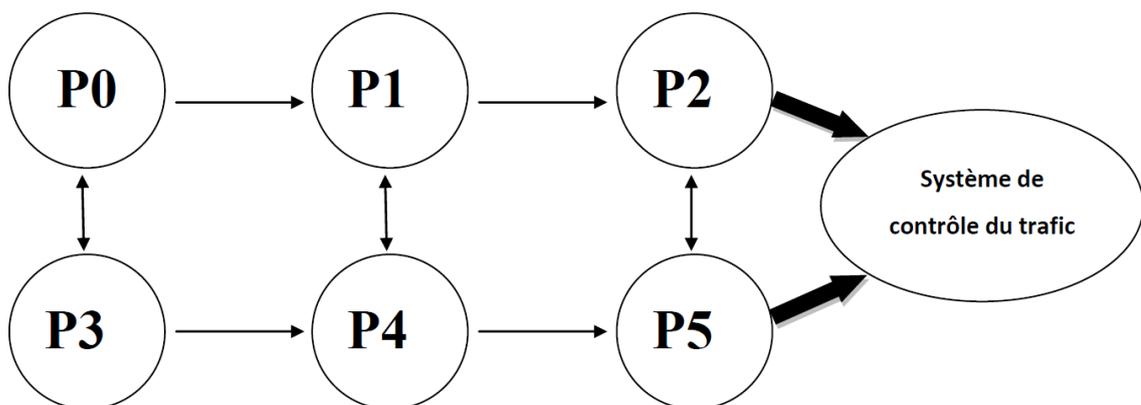
Pour chaque avion prévu de décoller, les sélections suivantes doivent être effectuées :

*- Sélectionnez la piste de décollage (Problème P3)*

*-Choisissez l'heure de sortie du parking (Problème P4)*

*-Choisissez l'itinéraire entre le parking et la piste (Problème P5).*

Tous ces problèmes ont des interdépendances résultant de relations consécutives entre certaines décisions et les interactions des flux au niveau des voies de circulation, de stationnement et de la piste. Par conséquent, nous pouvons obtenir le tableau suivant :



**Figure 2.1 :** Interdépendances entre problèmes de gestion et de contrôle du trafic au sol des aéronefs.

Une autre dimension doit être considérée ici : la prise de décision doit passer suffisamment de temps à l'avance pour l'objectif opérationnel identifié (Cela permet de mettre en œuvre les moyens logistiques appropriés à temps). Cependant, cette prise de décision est basée sur des prévisions sur l'état du système et l'horizon supérieur des explosions est étendu, plus le degré d'incertitude est élevé.

## 2) Outils automatisés de gestion de trafic

L'automatisation des services de la circulation aérienne peut être une solution aux problèmes abordés. Plusieurs tentatives ont été faites pour automatiser entièrement le contrôle du trafic aérien ont eu lieu, mais aucun ne peut conduire à une solution sûre. D'autre part, quelques outils d'aide Il a été développé pour fournir une assistance automatique au contrôleur pour réduisez leur charge de travail et augmentez la capacité du système ATM. Ces outils peuvent s'adapter à la gestion de l'aire de trafic Présentation de quelques outils existants qui aide la gestion au sol :

### ○ **SARIA**

Il fournit l'attribution des postes de stationnement et l'heure de sortie de l'aire de trafic en temps "semi-réel"

### ○ **MAESTRO**

C'est un système qui aide à réguler et contrôler le flux de vol à l'arrivée. Le concept de MAESTRO a été proposé en 1985. Il fournit des outils de dialogue et négocier la construction globale des procédures de contrôle. Cet outil cela garantit la meilleure utilisation de la piste lors de l'atterrissage.

### ○ **Le SMA (Surface Movement Advisor)**

Il améliore l'efficacité opérationnelle aéroport. L'idée est d'améliorer le partage d'informations entre parties prenantes à l'aéroport. Ses objectifs sont :

- Optimiser l'utilisation des espaces de stationnement
- Rationaliser l'occupation de la voie de circulation au démarrage
- Simplifier la communication vocale
- Promouvoir l'analyse des opérations aéroportuaires
- Améliorer la programmation de l'équipage

## 3) Problèmes opérationnels de la circulation au sol des avions

Il existe une tendance à confondre les dangers avec leurs conséquences. Lorsque cela se produit, la description du danger en termes opérationnels reflète alors les conséquences plutôt que le danger lui-même. Autrement dit, il n'est pas rare de voir le danger décrit par conséquence. Déclarer et nommer le danger est l'une de ses conséquences et peut masquer

la vraie nature de ce danger et son pouvoir potentiellement destructeur, mais il nuit également à l'identification d'autres conséquences importantes de ce danger.

D'un autre côté, la description et la dénomination correctes des dangers permet d'identifier leur nature et leur potentiel dommageable. De déduire correctement leurs sources ou leurs mécanismes. Surtout, évaluez les résultats en fonction du degré de perte potentiel, c'est l'un des objectifs ultimes de la gestion des risques de sécurité. Les dangers peuvent être divisés en trois catégories : dangers naturels, dangers techniques et économiques.

### **3.1) Les Problèmes liés à la météorologie**

Les conditions météorologiques jouent un rôle important dans le bon fonctionnement opérez sur la plate-forme de l'aéroport. Trois facteurs constituent problèmes du trafic sol : les précipitations, les vents traversiers et la visibilité.

- Les vents de travers affectent l'atterrissage et le décollage. Le service de prévisions météorologiques de l'aéroport doit informer l'utilisateur de la direction et de l'intensité des vents traversiers
- Les précipitations modifieront l'adhérence du pneu et affecteront directement sur la manœuvrabilité et la sécurité de l'aéronef. Les opérations sur la plateforme aéroportuaire se déroulent jusqu'à un niveau limite des précipitations. La quantité de précipitations à l'aéroport a atteint un niveau limite. Dépasser cette restriction interdira tout mouvement. Les précipitations peuvent être se présente sous forme de pluie, neige, glace, etc. La formation de la glace pose des problèmes particuliers au décollage. Pour combattre l'entraînement et le dépôt de glace sur l'aile de l'avion, des zones de dégivrage sont prévues sur les aires de trafic de certains aéroports.
- Les conditions de visibilité affectent la fluidité du trafic. La règle "voit et devient "vu" continue d'être utilisé pour le contrôle de flux sur la plate-forme aéroport. Les conditions de visibilité sont divisées en quatre niveaux. Concernant les manœuvres d'atterrissage, en particulier l'atterrissage automatiquement, les conditions de visibilité peuvent être classées comme suit :

*-CAT I : La visibilité est supérieure à 800m,*

*-CAT II : à partir de ce niveau, la visibilité est inférieure à 800m et supérieure à 400m Des procédures spéciales s'appliquent à la gestion de la mobilité aéroportuaire terre.*

*-CAT IIIA : la visibilité est inférieure à 400 m et supérieure à 200 m.*

*-CAT IIIB : la visibilité est inférieure à 200 m et supérieure à 50 m.*

*-CAT IIIC : La visibilité est inférieure à 50m.*

### **3.2) Les problèmes liés aux performances des avions**

Les performances de l'avion au sol se manifestent principalement par :

*-Vitesse de décollage et d'atterrissage et temps d'occupation de la piste*

*-La vitesse de déplacement de l'avion sur la voie de circulation (20 nœuds général)*

*-Le temps et la distance de freinage et d'accélération standard*

*-Rayon de braquage minimum*

*-Vitesse de rotation maximale*

*-La taille de l'avion (envergure et longueur) au roulage et au roulage parking*

*-Capacité de conduite autonome du parking*

*-Compatibilité avec la façon dont les passagers montent et descendent et le fret.*

## **4) Solution aux problèmes de la circulation des avions au sol**

Pour éviter les problèmes liés au trafic aérien, les organes nationaux des établissements de la navigation aérienne exigent le respect de certaines règles à suivre.

### **4.1) Manœuvre des aéronefs**

- tout démarrage, configuration ou départ doit être suivi par le personnel au sol qualifié doit s'assurer à l'avance :

*-Toutes les instructions de sécurité émises par l'exploitant doivent respecter.*

*-Il n'y a pas d'obstacles dans la zone concernée par ces actions.*

- Les feux anticollisions de l'avion doivent être allumés pendant un certain temps avant de démarrer et pendant que le moteur est en état de démarrage chirurgie.
- S'il n'est pas possible de remorquer l'avion de jour comme de nuit, la liaison radio avec la tour de contrôle n'est pas établie.

#### **4.2) Manœuvre des véhicules**

- Obliger les conducteurs à suivre les règles générales de circulation établie par la réglementation routière
- Pas de parking sur la route
- Ne marchez pas en dehors du sentier
- L'avion a toujours la priorité sur toute autre action
- Ne coupez jamais l'itinéraire de l'avion
- Les voitures particulières ont priorité sur les autres véhicules
- Il est strictement interdit de conduire sous les ailes
- Effectuer la marche arrière uniquement sur les aires de trafic que guidée par une personne au sol.

### **5) L'analyse des problèmes de gestion de trafic au sol**

Les problèmes de gestion rencontrés par le contrôleur dans le cadre de la planification opérationnelle sont composés de deux parties :

- Problèmes de gestion du trafic entrant :

*Problèmes (P0) : Sélection de la piste et heure d'atterrissage*

*Problèmes (P1) : Choisissez une place de parking*

*Problèmes (P2) : Déterminez la route de l'aéronef*

*(Piste —————▶ parking)*

- le problème initial de la gestion du trafic :

*Problèmes (P3) : Choix de la piste de décollage*

*Problèmes (P4) : Choisissez l'heure de sortie du parking*

*Problèmes (P5) : Déterminez la route de l'aéronef*

*(Parking —————> Piste)*

## **5.1) La gestion des arrivées**

Pour les aéroports à fort trafic, le problème d'ordonnancement des atterrissages est un problème critique car, il conditionne la capacité globale de l'aéroport. Le but est d'analyser la problématique de la gestion de l'atterrissage d'un avion à l'arrivée. Une plateforme d'aéroport contenant une ou plusieurs pistes d'atterrissage, pour faire atterrir dans les meilleures conditions possibles un flux maximum d'avions incidents vers l'aéroport et ses pistes.

Le problème (P0) se situe entre le trafic aérien et le trafic au sol. Par conséquent, cela pose les problèmes suivants : coordination entre la gestion du trafic au sol et les systèmes de gestion du trafic aérien. Pour cela, il Besoin de quelques outils pour faciliter la transition entre la gestion des contrôleurs aériens Routes et méthodes comme MAESTRO.

### **5.1.1) Cas d'une seule piste d'atterrissage**

Si nous considérons le problème (P0) comme le problème de minimiser la différence entre les deux Moments d'atterrissage et moments planifiés sous intervalle de temps et contraintes de temps et respectez le créneau d'atterrissage, il ne vous reste plus qu'à trouver le temps d'occupation de piste (TOP) à l'atterrissage pour une seule piste, donc le problème se révèle relativement facile.

Le temps d'occupation de la piste (TOP) à l'atterrissage est le temps entre les deux Les événements suivants :

*a. L'avion a franchi le seuil de la piste*

*b. L'avion a quitté la piste et a passé un point à 90 mètres de l'axe médian de la piste (Servitudes).*

### **5.1.2) Cas de plusieurs pistes d'atterrissage**

En revanche, si l'on considère le problème de deux pistes d'atterrissage, la complexité augmente très fortement.

Le problème de planification à court terme (plus d'une demi-heure) des atterrissages des avions dans un aéroport qui exploite deux pistes d'atterrissage a été considéré. C'est aussi

un problème d'optimisation de l'heure d'atterrissage de chaque aéronef dans un aéronef dans une fenêtre prédéterminée de temps en essayant de coller au mieux aux instants d'atterrissage programmés.

## **5.2) La gestion des postes de stationnement**

Le problème de la gestion des parkings des avions est un problème Cela comprend l'attribution d'une station ou d'une aire de stationnement pour chaque avion à l'arrivée Compatible avec ses caractéristiques opérationnelles et commerciales. Ce n'est pas Juste pour répondre aux restrictions de séparation entre les différents types d'aéronefs dans la zone de manœuvre et aux postes de stationnement voisins, mais aussi d'éliminer toutes les situations potentielles de conflit avec les autres avions tant à l'arrivée comme au départ de cette zone.

Les principaux types de confits présents dans les zones de manœuvre au voisinage des postes de stationnement sont représentés ci-dessous :

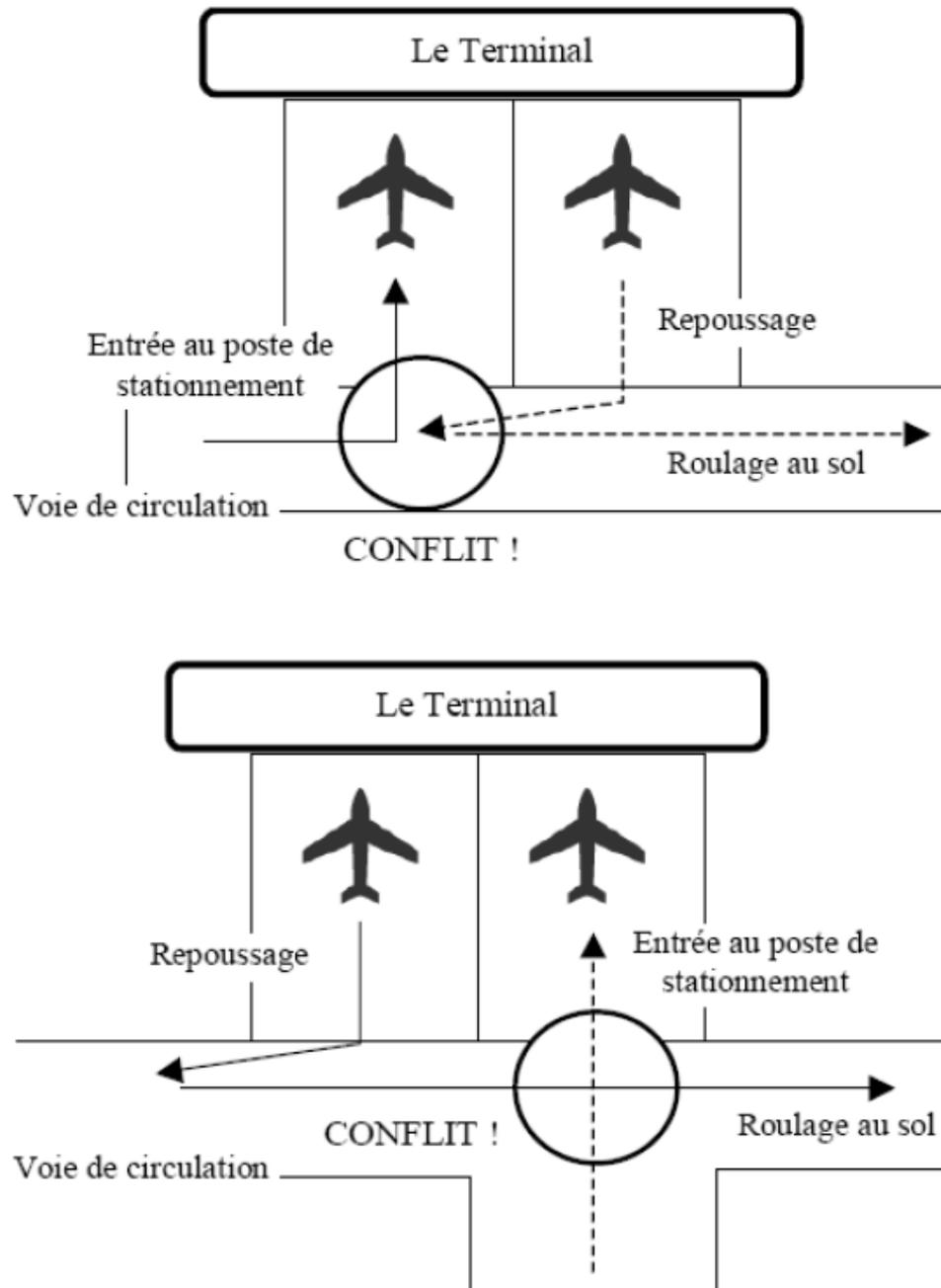


Figure 2.2 : Exemple de conflits entre avions dans la zone de stationnement

### 5.3) Le choix des cheminements

Il s'agit de définir une trajectoire pour chaque aéronef entre sa position de stationnement et la piste décollage.

Différents critères permettent de comparer l'ensemble des chemins qui relient l'origine et la destination d'un déplacement :

*-La longueur du chemin*

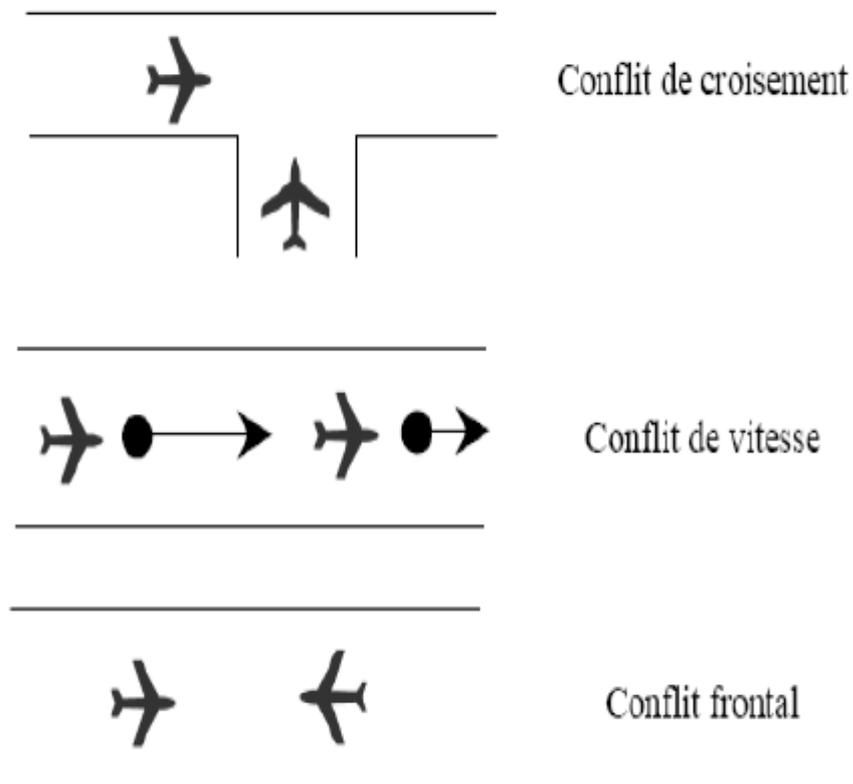
-La durée du plan (attentes de déplacement et attentes intermédiaires)

-Du point de vue du pilote et du pilote, la complexité de la trajectoire

*Manette*

Le contrôleur ne peut pas choisir indépendamment les trajectoires des différents aéronefs existant sur la plate-forme de l'aéroport, mais les choisit simultanément sur un groupe d'aéronefs arrivant de la position de stationnement. En fait, tous ces aéronefs interagissent entre eux et avec des aéronefs déjà sur la voie de circulation. Ainsi, en tenant compte des critères de séparation entre aéronefs et en évitant les conflits, le contrôleur réparera toutes ces trajectoires en essayant de répondre pleinement aux critères mentionnés dans la section précédente.

Les principales situations de conflit rencontrées sur la voie de circulation de l'aéroport :



**Figure 2.3 :** Les principaux types de conflits sur les voies de circulation

## 6) Le cadre opérationnel du trafic sol

Le cadre opérationnel du trafic des avions au sol est précisé : il s'agit bien de véhicules qui doivent être précisément localisés et guidés sur un réseau de voies de circulation, ce qui met en jeu des systèmes de signalisation, de localisation et de communication. Les conditions opérationnelles vont alors dépendre de facteurs tels que les caractéristiques des aéronefs face à la géométrie des voies de circulation, mais aussi et pour beaucoup, des conditions météorologiques et notamment de la visibilité.

### 6.1) Considérations générales

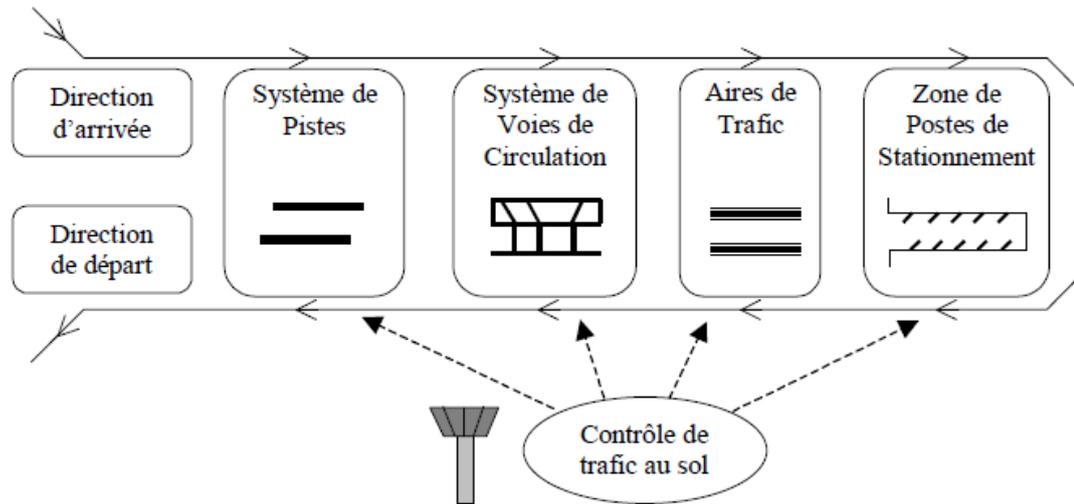
L'accroissement considérable du trafic aérien dans tous les grands aéroports du monde a entraîné une augmentation sensible, sur les pistes, les voies de circulation et les aires de stationnement, des mouvements d'avions mais aussi de véhicules divers. Aussi s'est-il avéré de plus en plus nécessaire de mettre à la disposition des contrôleurs des systèmes donnant une image constamment mise à jour de l'ensemble de la situation qui règne sur les aéroports (radars de surveillance, détecteurs et senseurs, systèmes de positionnement par satellite embarqués etc.).

Jusqu'à récemment, la sécurité des mouvements au sol a été assurée par le principe simple « voir et être vu » dans le respect de la réglementation OACI [OACI, 1986] du SMGCS.

Les procédures opérationnelles dépendent de la vision directe du contrôleur et du pilote. Le contrôleur dans sa tour doit voir la situation globale et détecter les anomalies. Le pilote ou le conducteur de véhicule voient la situation devant eux et assurent leur sécurité immédiate.

Lorsque les conditions de visibilité se dégradent, ce principe devient de plus en plus dur à respecter et des mesures doivent être prises pour maintenir la sécurité. Le pilote localise sa position sur le terrain et la transmet par VHF au contrôleur. En l'absence de radar de surface, la circulation des véhicules est strictement réglementée voire interdite, le mouvement des [2].

avions est limité à un seul par zone et une seule bretelle de sortie est activée. Lorsqu'un radar de surface est installé, l'information présentée au contrôleur lui permet de suivre les évolutions des avions, de vérifier que les pistes sont bien dégagées avant tout mouvement d'atterrissage ou de décollage, et de fournir aux pilotes des informations liées à la sécurité de l'avion.



**Figure 2.4 :** Les flux de trafic et la structure de contrôle d'un aéroport

La circulation des aéronefs au sol s'intègre à celle des très nombreux véhicules de servitude, à celle des véhicules de secours ainsi qu'à celle des aéronefs, remorqués ou non, en provenance ou à destination des aires d'entretien. La circulation au sol des aéronefs conditionne pour une grande part la capacité des aéroports ainsi que l'encombrement des espaces aériens environnants. Elle a un impact important sur la sécurité, la qualité de service et l'économie des opérations de transport aérien.

## 6.2) Les systèmes de signalisation

Sur la plate-forme aéroportuaire, le pilote dispose d'aides à l'orientation visuelles :

- marques de piste et de voie de circulation qui consistent en marques axiales et latérales ; les marques axiales sont indispensables pour maintenir le cap ; elles permettent au pilote de suivre une ligne qui le guide dans la direction du mouvement.
- signaux de destination ; les signaux de guidage (signaux d'emplacement et de destination) consistent, dans la grande majorité de cas, en panneaux indicateurs verticaux placés à la proximité des pistes et des voies de circulation ; la nuit, ces panneaux sont illuminés ou seulement réfléchissants.

– indicateurs d’alignement et d’arrêt sur les aires de stationnement ; l’indication de l’emplacement du poste de stationnement affecté à l’avion, la précision des évolutions d’approche et de l’arrêt au point de stationnement sont assurés par des systèmes optiques lumineux ou des marques peintes sur le sol [2].

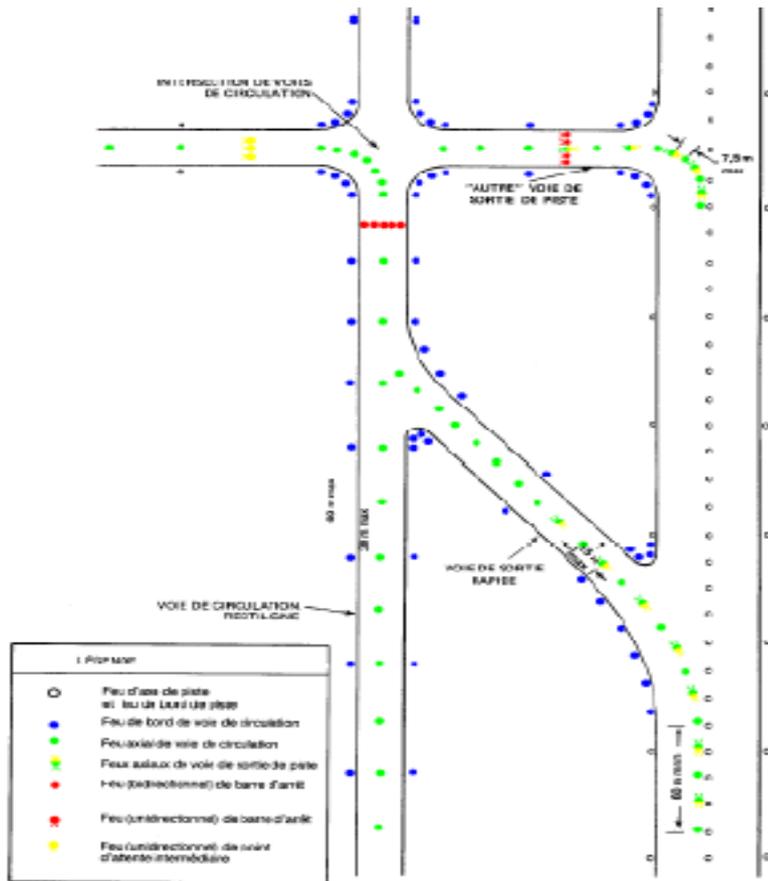


Figure 2.5: Le balisage lumineux des voies de circulation et des pistes

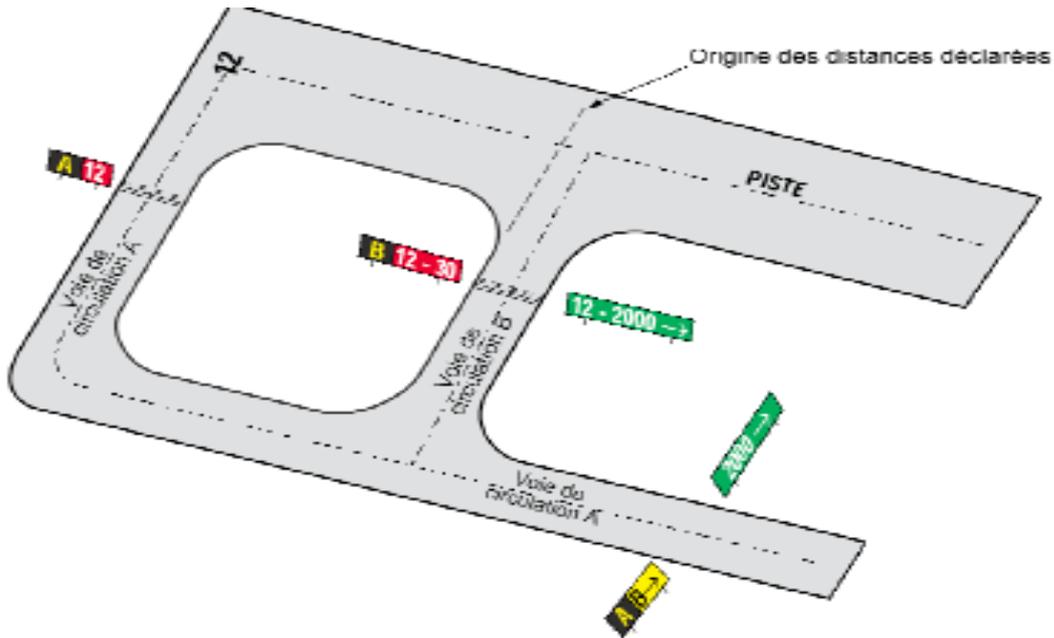


Figure 2.6: Marquage des voies de circulation

### 6.3) Les systèmes de localisation

Tous les moyens pouvant donner des indications sur la position ou l'identification d'un mobile peuvent être catalogués comme systèmes de localisation. On distingue différentes catégories de systèmes de localisation : les systèmes coopératifs, non coopératif, de couverture partielle ou toute, dépendants ou non dépendants.

	Non coopératifs	Coopératifs
Non dépendant Couverture totale	Les moyens humains Radar primaire de surface	Multilatération VHF ou UHF Multilateration mode S
Non dépendant Couverture ponctuelle	Capteurs hyper fréquences Capteurs optiques Capteurs acoustiques Capteurs infrarouges Boucles magnétiques	Porte mode S Radar secondaire dans l'axe d'approche
Dépendant		ADS ADS-B

Tableau 2.1 : La classification des senseurs

Pour la surveillance sol, il s'agit de centraliser l'information pour pouvoir mieux l'exploiter. Les capteurs non-coopératifs sont ceux qui permettent de détecter un mobile sans aucune intervention de celui-ci. Ce type de capteur sera toujours utile pour détecter les intrus ou les mobiles en panne. Les capteurs coopératifs sont ceux qui possèdent un élément actif du type transpondeur, qui permet d'obtenir une information personnalisée,

plus riche. Pour les capteurs dépendants, c'est le mobile lui-même qui génère l'information et la transmet.

Les barres d'arrêt sont des feux rouges encastrées qui interdisent l'accès à la piste. Pour autoriser l'accès, le contrôleur doit éteindre ces feux qui se rallument automatiquement après le passage de l'avion grâce à un capteur ponctuel.

Dans le cadre des capteurs dépendants c'est le mobile qui effectue la plus grosse part du travail en évaluant sa position et en la transmettant vers le sol avec son identification. C'est ce qu'on appelle l'ADS (Automatic Dependant Surveillance). Pour l'application sol, ce principe est surtout intéressant dans sa version ADS-B (comme Broadcast, ce qui veut dire : diffusion permanente de l'information) [2].

Le principe de l'ADS-B est de transmettre automatiquement (sans commande du pilote) différents paramètres, telles que l'identification de l'avion, sa position, sa route, sa vitesse (Dépendance vis à vis des autres senseurs de l'avion), pour des applications de Surveillance.

Ces messages seront diffusés (Broadcast) par le biais d'une liaison de données vers des destinataires non désignés qui peuvent être d'autres aéronefs, des stations sol, des véhicules sol, la tour de contrôle, etc. Ces utilisateurs potentiels, dont l'avion émettant le message n'a pas connaissance, ont le choix de traiter ou de rejeter les messages reçus (en fonction principalement de leurs situations respectives). L'ADS-B n'est pas un système de surveillance, ce n'est qu'un moyen de la réaliser. Actuellement, on enregistre de plus en plus de cas d'intrusions intempestives de piste alors qu'un aéronef est en train d'atterrir ou de décoller, ce qui pourrait avoir des conséquences catastrophiques. L'ADS-B est l'un des systèmes susceptibles d'améliorer la sécurité aéroportuaire, en réduisant la fréquence de ce type d'événement. La première étape nécessaire est d'améliorer la navigation sur l'aéroport en transmettant au pilote une carte électronique de l'aérodrome, associée à une indication de sa position. Cette fonction (indépendante de l'ADSB) pourrait déjà améliorer la sécurité en évitant que, du fait des conditions météorologiques ou d'une méconnaissance de l'aérodrome, des véhicules ou des aéronefs se perdent sur la plateforme.

L'étape suivante pourrait consister à doter les véhicules et les aéronefs d'un équipement ADS\_B afin que, sur le même écran embarqué, un équipage puisse visualiser la position de tous les mobiles environnants. Par la suite des alarmes pourraient être implémentées afin d'éviter que des mobiles (aéronefs ou véhicules d'aéroports) ne pénètrent dans des zones

dangereuses. Côté ATC, l'information ADS-B serait utilisée comme une donnée supplémentaire aux moyens de surveillance déjà existants (radar de surface).

D'autres fonctionnalités pourraient être implémentées comme la transmission au pilote, par liaison de données, de son cheminement à l'arrivée ou au départ. Cette fonctionnalité est indépendante de l'ADS-B.

Malheureusement ce système n'est pas encore généralisé et il faudra attendre entre cinq et dix ans avant de pouvoir l'exploiter[2].

#### **6.4) Les systèmes de communication**

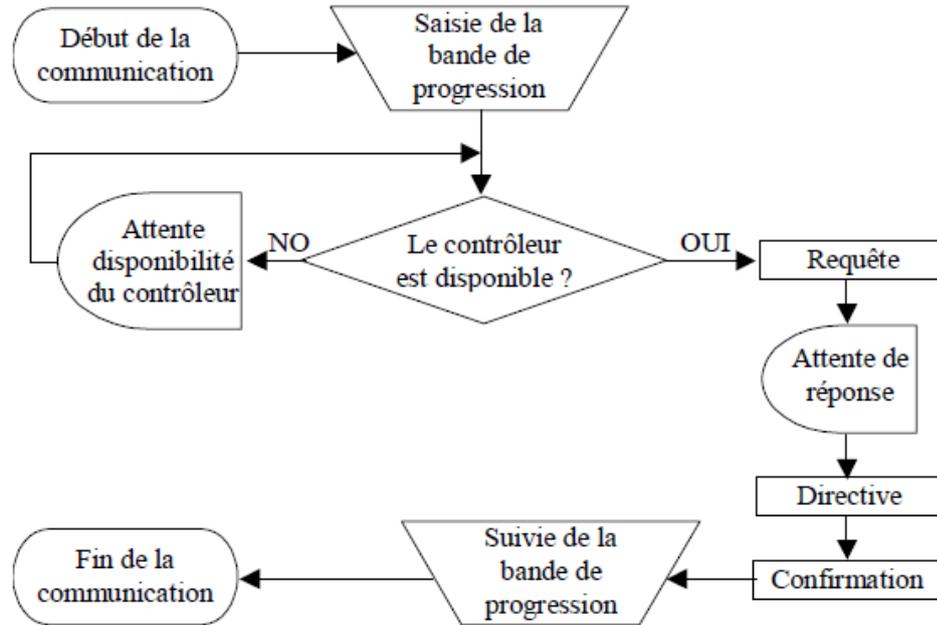
Le réseau de communication de l'aéroport assure la transmission de données de façon à rendre possible :

- la prestation des services de contrôle de la circulation aérienne,
- l'échange d'informations entre les acteurs du trafic aéroportuaire,
- d'autres applications comme les communications administratives aéronautiques.

Le lien direct entre les usagers de la plate-forme aéroportuaire est assuré par des liaisons radio, notamment des liaisons vocales. L'information requise par les pilotes ou les conducteurs de véhicules est transmis par les contrôleurs de trafic au sol ou par les conducteurs directement. Dans les deux cas, la transmission s'effectue par voie radio en mode vocal.

Le système de communication comporte d'autres composantes : les systèmes de communication de données, les systèmes de surveillance dépendante automatique et les systèmes de surveillance non renseignés. Tous font partie des systèmes de surveillance et de localisation.

Le plus important système de communication reste celui associé au système de contrôle du trafic. Ce système est aujourd'hui encore entièrement vocal et comporte un langage spécialisé avec une phraséologie standard. Même si la différence entre le message écrit et celui transmis est très grande, l'ensemble des acteurs du trafic sol doivent communiquer ainsi. Pour des raisons purement humaines ou pour des problèmes d'ordre technique, la communication peut devenir très lente voire impossible. Dans des conditions de demande de trafic élevée, les canaux de communication deviennent saturés et la cohérence des transmissions peut ne plus être assurée [2].



**Figure 2.7 :** La diagramme du protocole de communication entre le contrôleur et le pilote

## 7) Exemple d'organisation du poste de contrôle du trafic au sol

Celui-ci développe plusieurs fonctions : contrôle local, contrôle sol, contrôle de poste, émission de clearances, données de vol, coordination du trafic, supervision de tour, monitoring à vue, représentation du trafic (écran numérique, écran radar). La tour de contrôle est responsable de la gestion des mouvements des avions au sol. Dans le cas des départs, les contrôleurs prennent en charge l'avion de la compagnie aérienne dès le départ du poste de stationnement (repoussage ou roulage) et jusqu'à l'entrée dans l'espace aérien, quand ils le passent aux contrôleurs de trafic en route. Concernant les arrivées, l'avion est pris en charge de la part des contrôleurs aériens au moment quand il entame l'approche finale, et il est guidé à travers les phases d'atterrissage et de roulage au sol jusqu'à l'arrivée au poste, où il est confié à la compagnie aérienne [2].

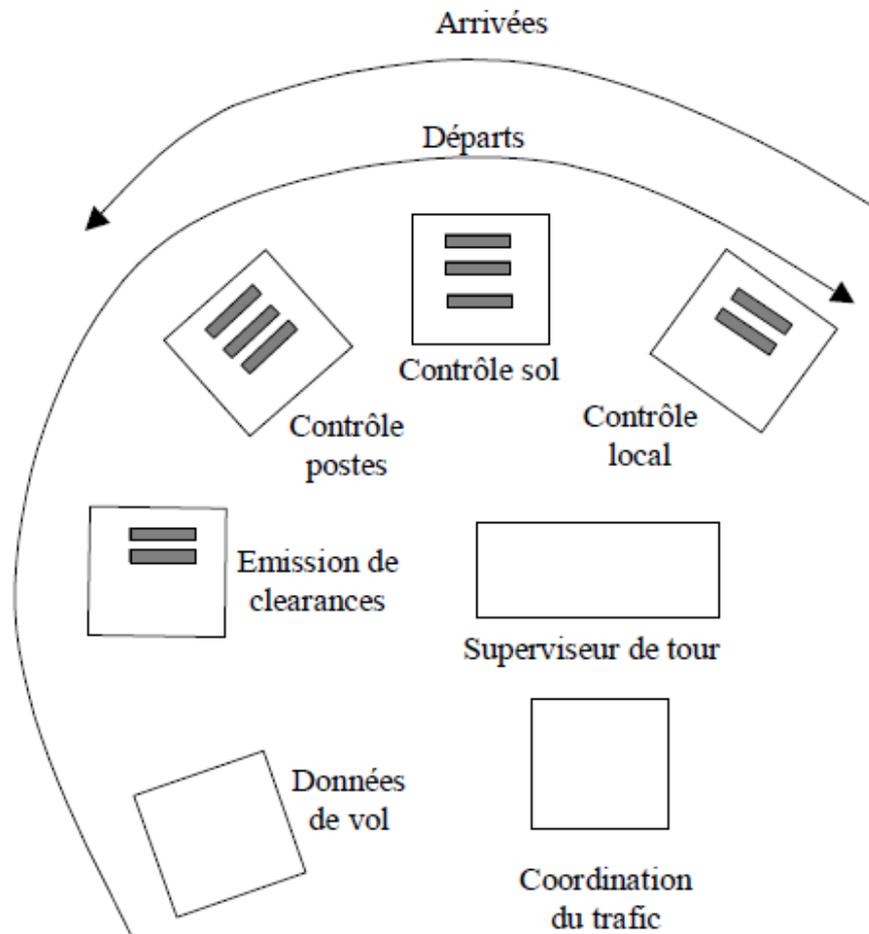


Figure 2.8 : Exemple d'organisation de la tour de contrôle

### 7.1) Les différentes fonctions associées au contrôle du trafic sol

Le contrôle local est responsable des arrivées et des départs des avions sur les pistes, ainsi que des avions opérant dans l'espace aérien de l'aéroport. Plusieurs contrôleurs locaux peuvent être actifs simultanément.

Le contrôle sol est responsable du guidage des avions au sol ne nécessitant pas la traversée des pistes actives (cette opération étant sous la responsabilité du contrôle local). Le contrôle sol peut émettre la clearance pour effectuer le repoussage, le roulage, il peut attribuer des chemins vers chaque piste et finalement il remet le contrôle de l'avion et la communication au contrôle local.

Le contrôleur de poste est responsable de la gestion des avions au départ. Le contrôleur reçoit un appel de la part du pilote, lui indiquant que l'appareil est prêt pour le repoussage (s'il s'agit d'un jet) ou pour le roulage (pour les autres avions), et il marque le moment de l'appel sur la bande de progression du vol. Le contrôleur de poste fait alors une estimation

du temps de repoussage/roulage dans le cas où une attente est nécessaire, et cette estimation est également inscrite sur la bande de progression du vol. Au final, le contrôle poste remet l'avion au contrôle sol selon de principe « premier arrivé, premier servi », sauf conditions spéciales ou une restriction concernant l'instant de décollage, qui nécessitent l'application des procédures différentes.

L'émission de clearances concerne les clearances de départ. Le contrôleur de clearances vérifie que les plans de vol sont complets et corrects, et communique verbalement l'altitude initiale. L'émission de clearances peut être confirmée par le contrôle de poste.

Le responsable des données de vol distribue l'information. Il vérifie l'intégrité des plans de vol avant de remettre la bande de progression du vol au contrôleur de clearances.

Le coordinateur du trafic transmet toutes les restrictions du trafic au sol, ainsi que les alertes météorologiques, au superviseur de la tour. Il fait le compte rendu de toutes les restrictions de trafic influant sur l'activité de la piste et des événements spéciaux. En coordination avec le superviseur de la tour et le contrôleur de secteur aérien voisin de l'aéroport, il décide du taux d'arrivées et de départs de l'aéroport.

La supervision de tour concerne la planification stratégique, les décisions tactiques et la gestion du nombre de contrôleurs assignés à différentes fonctions de contrôle du trafic des avions au sol.

Le monitoring à vue est la pratique courante, dans des conditions de bonne visibilité, employée par les contrôleurs de trafic afin d'évaluer l'état de trafic.

La représentation du trafic peut être réalisée sur des écrans radar. Ainsi les positions des avions (et d'autres véhicules) au sol et leurs identificateurs peuvent être affichés. Ce type de représentation est utilisée principalement dans des conditions de mauvaise visibilité où le monitoring à vue est inefficace.

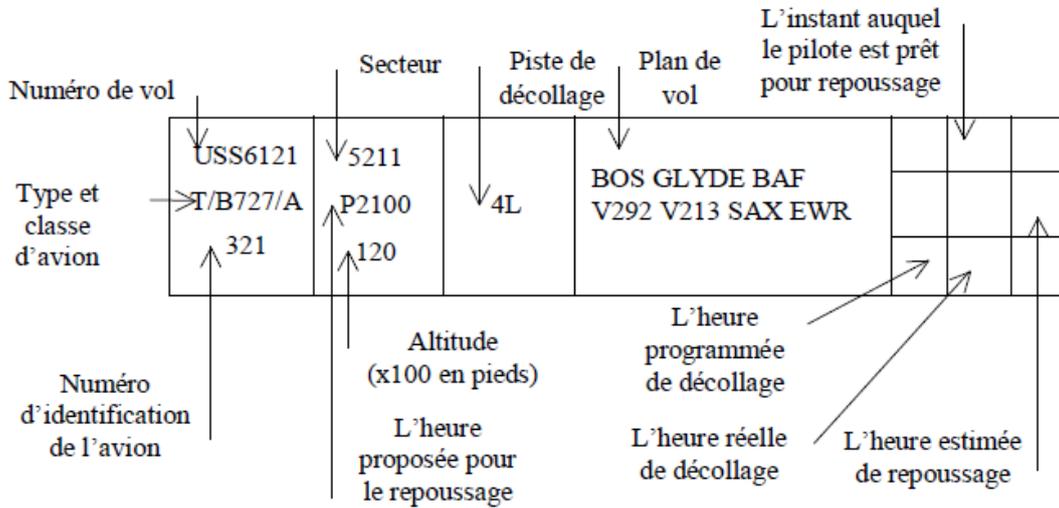
La représentation radar du trafic aérien environnant est utilisé principalement par le contrôle local.

La communication radio entre les pilotes et les contrôleurs est encore le moyen d'échange de l'information nécessaire au bon déroulement de mouvement des avions au sol : état de l'avion, les clearances, les demandes de repoussage, les points d'arrêts, les chemins à suivre ...etc. [2].

## **7.2) Les bandes de progression**

Les bandes de progression (« strips ») sont utilisées par les contrôleurs de trafic au sol pour enregistrer l'évolution des avions. A chaque départ est associée une bande de

progression imprimée automatiquement par le système de données de vol une demi-heure avant le temps de départ programmé.



**Figure 2.9 :** Exemple de bande de progression

Les bandes de progression sont utilisées comme source d'information concernant le départ : l'avion, son type, son identification, le temps désiré de départ proposé par la compagnie aérienne, le plan de vol (jusqu'à l'entrée dans l'espace aérien contrôlé) et les restrictions imposées tout au long du roulage au sol. Les bandes de progression sont utilisées aussi comme un outil de communication entre les contrôleurs de trafic au sol. Les bandes de progression passent d'un contrôleur à l'autre suivant la progression de l'avion au sol et le transit des différentes zones de l'aéroport contrôlées par les contrôleurs respectifs. Les contrôleurs notent (en écrivant à la main) sur les bandes de progression l'information additionnelle comme la piste assignée pour le décollage, les modifications de l'acheminement de l'avion et certains instants de temps critiques (l'instant où le pilote est prêt pour quitter le poste de stationnement, l'instant de décollage) [2].

## 8) gestion les aéroports

La planification et la gestion des aéroports comprennent le contrôle et l'optimisation de tous les modules de travail de l'aéroport : coordination des flux de passagers, diverses formes de maintenance et rotation des vols. Dans le même temps, la planification et la gestion de l'aéroport comprennent une recherche continue sur les besoins principaux et auxiliaires, et les ressources impliquées. En outre, l'impact environnemental direct des activités aéroportuaires doit également être pris en compte.

### 8.1) Un exemple de gestion aéroportuaire

- **L'aéroport international d'Alger - Houari Boumédiène** : L'aéroport international d'Alger - Houari Boumédiène (DAAG), ou, lors de sa création en 1924 aéroport d'Alger-Maison Blanche, est un aéroport algérien, situé sur la commune de Dar El Beïda à 16 km à l'est d'Alger. Il s'agit du plus important de tous les aéroports algériens. Sa capacité actuelle est d'environ 12 millions de passagers par an pour un flux réel de plus ou moins 4,5 millions en 2009. Il est composé d'une aérogare pour les vols internationaux, inaugurée le 5 juillet 2006, d'une aérogare pour les vols intérieurs, et d'un troisième pour les vols charters. L'aéroport d'Alger a été classé meilleur aéroport africain en 2011.

L'aéroport d'Alger est un aéroport civil international desservant la capitale algérienne et sa région (wilayas d'Alger, de Tipaza, de Blida, de Médéa, de Boumerdès et de Tizi Ouzou). L'aéroport est géré depuis novembre 2006 par la Société de gestion des services et infrastructures aéroportuaires (SGSIA), filiale de l'EGSA Alger, en partenariat avec Aéroports de Paris (ADP)[3].

Afin d'enregistrer davantage le processus de gestion de l'aéroport, un site [www.aeroport-alger.com](http://www.aeroport-alger.com) a été placé entre les mains de chaque utilisateur, ce qui explique tout Arrivées en direct de l'aéroport d'Alger et départs en direct de l'aéroport d'Alger Plan de l'aéroport d'Alger et Services disponibles à l'aéroport d'Alger parkings, taxis et locations à l'aéroport...etc.

مطار هواري بومدين الدولي

HOUARI BOUMÉDIENE

ALGER

aéroport international  
international airport

english

ARRIVÉES
DÉPARTS
L'AÉROPORT
COMPAGNIES
TRANSPORTS
TOURISME
FORMALITÉS
BILLETS D'AVION

## Arrivées en direct de l'aéroport d'Alger

Compagnie	Vol n°	Provenance	Prévu à	Remarque
<small>الخطوط الجوية الجزائرية</small>	AH6107	Oran (DZ)	10:50	
<small>الخطوط الجوية الجزائرية</small>	AH6027	Constantine (DZ)	11:00	
<small>الخطوط الجوية الجزائرية</small>	AH6217	Ouargla (DZ)	12:25	
<small>AIRFRANCE</small>	AF1384	Paris (FR)	15:17	en retard de : 17mn
<small>الخطوط الجوية الجزائرية</small>	AH6143	Adrar (DZ)	15:40	
<small>TURKISH AIRLINES</small>	TK6327	Istanbul (TR)	15:44	en retard de : 49mn
<small>الخطوط الجوية الجزائرية</small>	AH6232	Djanet (DZ)	16:30	
<small>الخطوط الجوية الجزائرية</small>	AH6157	Timimoun (DZ)	17:30	
<small>الخطوط الجوية الجزائرية</small>	AH6507	Oran (DZ)	19:40	
<small>الخطوط الجوية الجزائرية</small>	AH6527	Constantine (DZ)	19:51	
<small>الخطوط الجوية الجزائرية</small>	AH6517	Annaba (DZ)	20:10	
<small>الخطوط الملكية المغربية royal air maroc</small>	AT352	Casablanca (MA)	09:15	
<small>الخطوط الجوية الجزائرية</small>	AH6107	Oran (DZ)	10:40	
<small>الخطوط الجوية الجزائرية</small>	AH6027	Constantine (DZ)	11:20	
<small>الخطوط الجوية الجزائرية</small>	AH6007	Annaba (DZ)	11:25	

<<< Vols précédents
Vols suivants >>>

### MÉTÉO À ALGER

Température: 22°C  
Partiellement nuageux  
Humidité: 41%  
Vent: NE à 20km/h  
Détail et prévisions

dim. 2 mai

# 14:48

بوعر لكم عنوان فرنسي

Figure 2.10 : Arrivées en direct de l'aéroport d'Alger ([www.aeroport-alger.com](http://www.aeroport-alger.com))

مطار هواري بومدين الدولي 🇩🇿 🇺🇸 english

HOUARI BOUMÉDIENE

ALGER ★ aéroport international  
international airport

[ARRIVÉES](#) | [DÉPARTS](#) | [L'AÉROPORT](#) | [COMPAGNIES](#) | [TRANSPORTS](#) | [TOURISME](#) | [FORMALITÉS](#) | [BILLETS D'AVION](#)

## Départs en direct de l'aéroport d'Alger

Compagnie	Vol n°	Provenance	Prévu à	Remarque
AIR ALGERIE	AH6107	Oran (DZ)	10:50	
AIR ALGERIE	AH6027	Constantine (DZ)	11:00	
AIR ALGERIE	AH6217	Ouargla (DZ)	12:25	
AIRFRANCE	AF1384	Paris (FR)	15:17	en retard de : 17mn
AIR ALGERIE	AH6143	Adrar (DZ)	15:40	
TURKISH AIRLINES	TK6327	Istanbul (TR)	15:44	en retard de : 49mn
AIR ALGERIE	AH6232	Djanet (DZ)	16:30	
AIR ALGERIE	AH6157	Timimoun (DZ)	17:30	
AIR ALGERIE	AH6507	Oran (DZ)	19:40	
AIR ALGERIE	AH6527	Constantine (DZ)	19:51	
AIR ALGERIE	AH6517	Annaba (DZ)	20:10	
ROYAL AIR MAROC	AT352	Casablanca (MA)	09:15	
AIR ALGERIE	AH6107	Oran (DZ)	10:40	
AIR ALGERIE	AH6027	Constantine (DZ)	11:20	
AIR ALGERIE	AH6007	Annaba (DZ)	11:25	

[<<< Vols précédents](#)
[Vols suivants >>>](#)

**نوفر لكم عنوان فرنسي  
لأستقبال طرودكم**

**MÉTÉO À ALGER**

Température: 22°C  
Partiellement nuageux  
Humidité: 41%  
Vent: NE à 20km/h  
Détail et prévisions

dim. 2 mai

# 14:52

f PARTAGER

ALG ✈️ TMT

FLIGHT: AH6350 SEAT: 1A

PASSENGER: OMAR AGHA

Figure 2.11 : Départs en direct de l'aéroport d'Alger(www.aeroport-alger.com)

The screenshot displays the website for Houari Boumediène International Airport in Algiers. The header includes the airport's name in Arabic and French, along with a navigation menu. The main content area is titled 'Services disponibles à l'aéroport d'Alger' and lists various services. To the right, there is a weather forecast for Algiers and a digital clock showing 15:03. Below the clock is a 'PARTAGER' button and an Air Algérie flight ticket for the route ALG to TMT, flight AH6350, passenger Omar Agha.

**مطار هواري بومدين الدولي**  
**HOUARI BOUMÉDIENE**  
**ALGER** ✨ aéroport international  
 international airport

ARRIVÉES | DÉPARTS | L'AÉROPORT | COMPAGNIES | TRANSPORTS | TOURISME | FORMALITÉS | BILLETS D'AVION

**Services disponibles à l'aéroport d'Alger**

- Accueil
- Distributeurs automatiques et change
- Lounges, salons VIP
- Internet
- Boutiques, presse et duty free
- Poste
- Police et sécurité
- Passagers à mobilité réduite
- Emballage des bagages
- Call center
- Pèse bagages
- Taille des bagages cabine
- Billets, réservations, tourisme
- Santé
- Litiges bagages
- Bar et restauration

**MÉTÉO À ALGER**

Température: 22°C  
 Partiellement nuageux  
 Humidité: 41%  
 Vent: NE à 20km/h  
 Détail et prévisions

dim. 2 mai  
**15:03**

f PARTAGER

الخطوط الجوية الجزائرية  
**AIR ALGERIE**

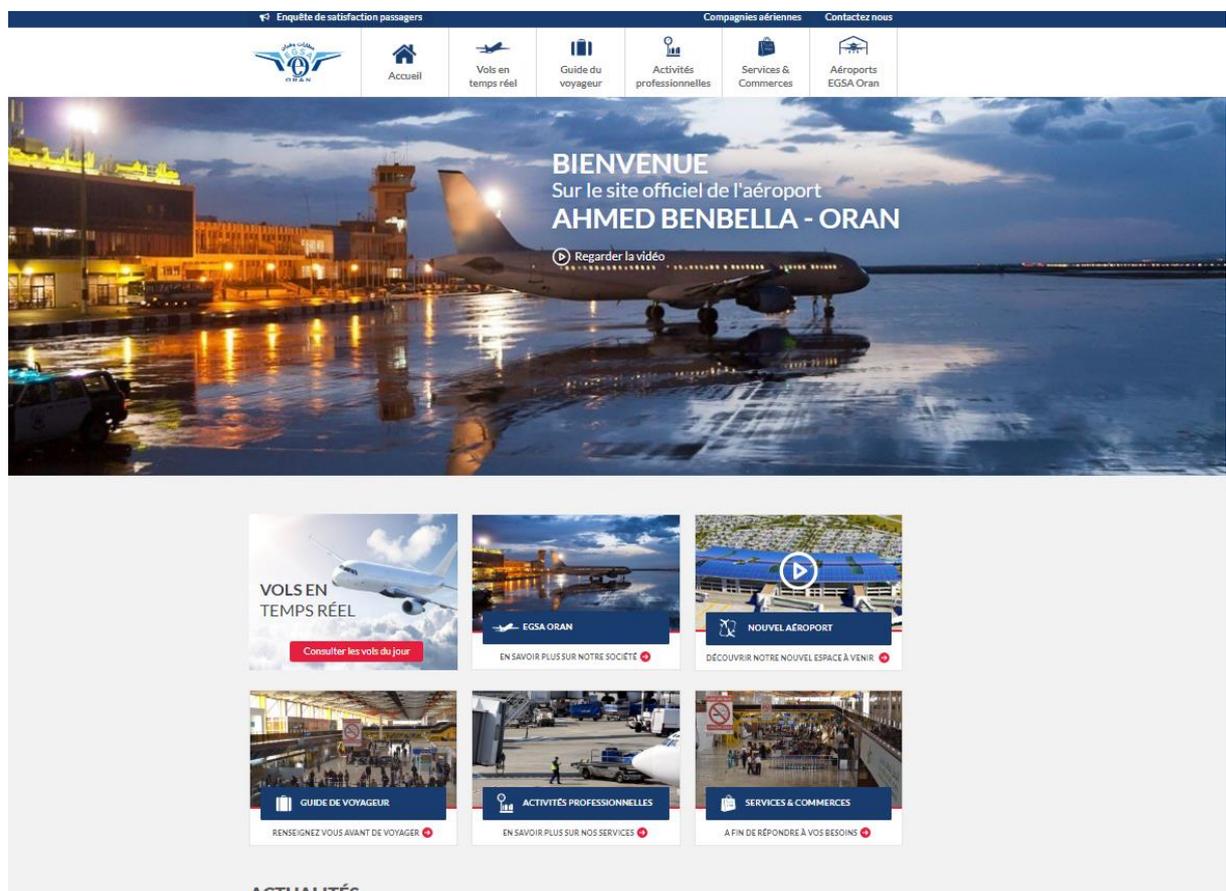
ALG ✈ TMT

FLIGHT	SEAT
AH6350	1A
PASSENGER	
OMAR AGHA	

Figure 2.12 : Services disponibles à l'aéroport d'Alger(www.aeroport-alger.com)

○ **L'aéroport international d'Oran - Ahmed Ben Bella** : (code AITA : ORN • code OACI DAOO), anciennement connu sous le nom d'Aéroport d'Oran - Es Sénia, est un aéroport algérien, situé sur la commune de Es Sénia à 12 km au sud d'Oran. Il est le deuxième aéroport d'Algérie après l'aéroport d'Alger - Houari Boumediene [4].

Et pour la gestion idéale de l'aéroport Ahmed Ben Bell2, un site [lesaerportsdoran.dz](http://lesaerportsdoran.dz) officiel ce qui explique tout Vols en Temps réel et Consulter les vols du jour et Guide voyageur et Services & Commerces...etc.



**Figure 2.13** : le site officiel de L'aéroport international d'Oran - Ahmed Ben Bella

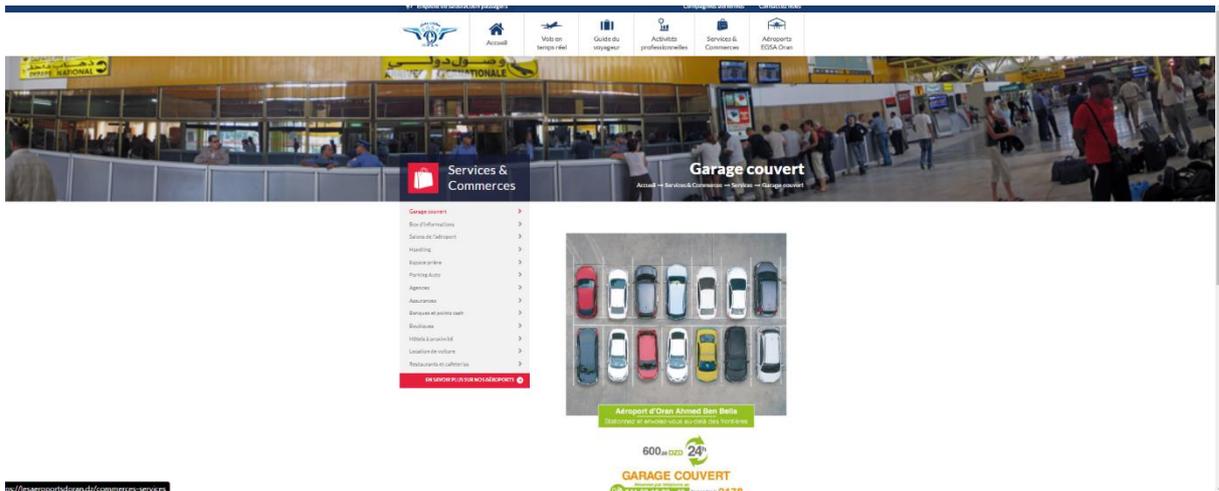


Figure 2.14 : Services & Commerces disponibles à L'aéroport international d'Oran - Ahmed Ben Bella

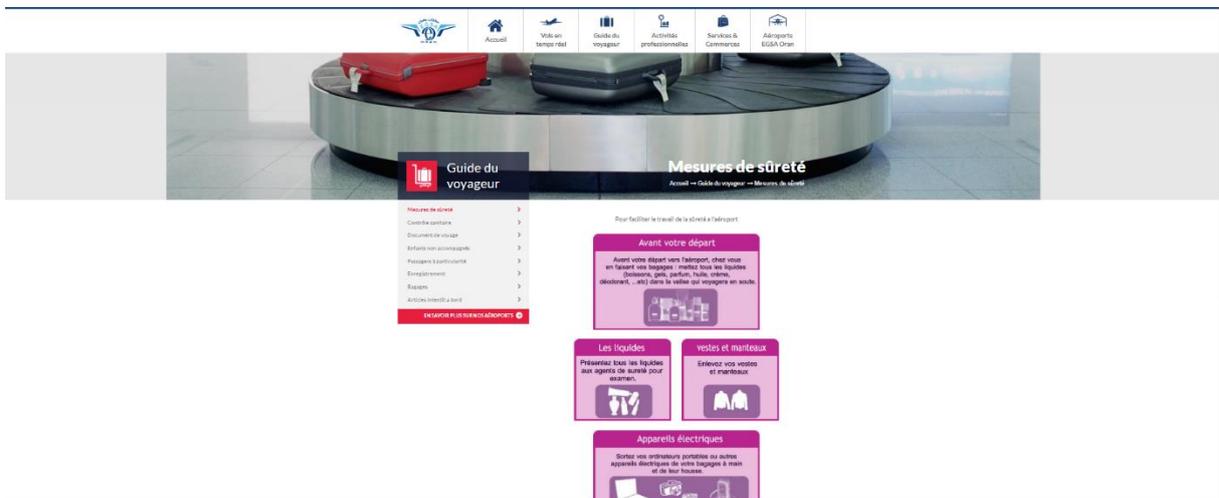


Figure 2.15 : Guide voyageur disponibles à L'aéroport international d'Oran - Ahmed Ben Bella

○ **L'Aéroport de Constantine dénommé « Mohamed Boudiaf »** est un aéroport civil international, situé sur le plateau d'Ain El Bey à 12 KM du centre-ville de Constantine. Il a été construit en 1943, depuis il a subi certains renforcements, aménagement et extensions. Parmi les plus importantes opérations réalisées à partir de 1999, nous citons :

- Construction d'une nouvelle piste atterrissage de 3000m x 45m.
- Taxiway de 1700m x 45m.
- Extension du parking avion et de l'aérogare passagers [5].

Afin de gérer l'aéroport, site [www.egsa-constantine.dz](http://www.egsa-constantine.dz) a été développé, ce qui permet à chaque utilisateur de savoir :

Actualités & Evénements

Programme des vols

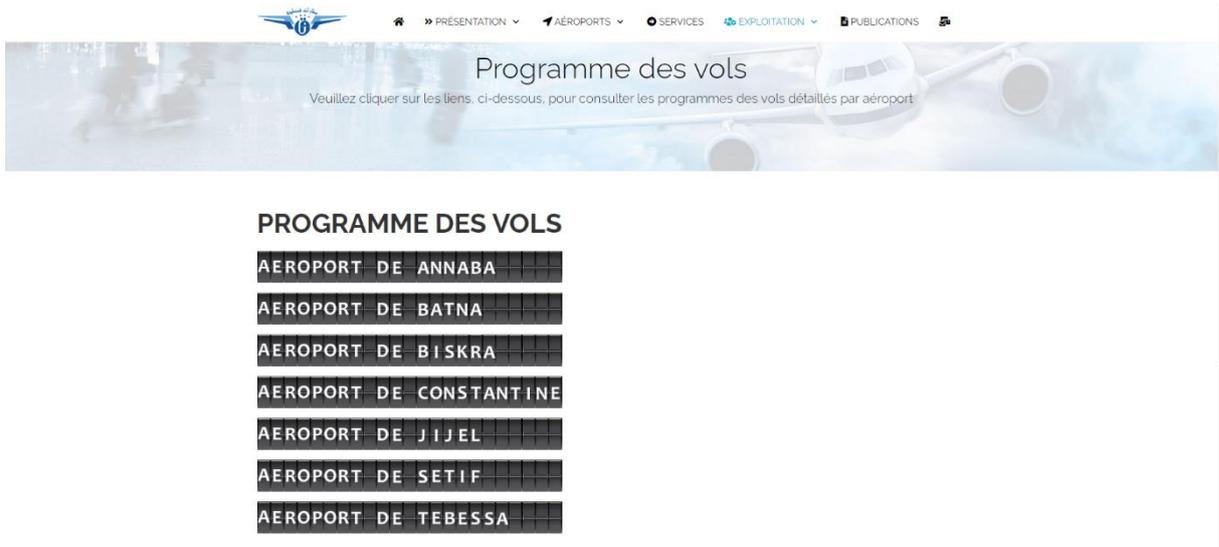
Statistiques du Trafic aérien

Informations de Sécurité et de Sûreté

...etc.



**Figure 2.16** : le site officiel de L'Aéroport de Constantine dénommé « Mohamed Boudiaf»



**Figure 2.17 :** Programme des vols de L'Aéroport de Constantine dénommé « Mohamed Boudiaf »



**Figure 2.18 :** Informations de Sécurité et de Sûreté de L'Aéroport de Constantine dénommé « Mohamed Boudiaf »

## 9) Etat de l'art

La plupart des systèmes actuels utilisent une approche du premier arrivé, premier servi (FCFS : premier arrivé, premier servi) pour la gestion des pistes. Il s'est avéré que l'optimisation de la séquence avion Il y a de plus en plus de recherches sur les pistes car cela montre une nette amélioration à l'usage Aménager correctement la piste pour le flux d'avions entrant sur la piste. Par conséquent, cette optimisation signifie que les aéronefs doivent être classés pour déterminer combien de temps ils utilisent la piste [6].

Il est attendu que possible de découper le problème d'arrangement des avions en deux sous problèmes : la direction de l'attente devant les pistes et le calcul des séquences. Les séquences de pistes sont optimisées entre une première étape. La faisabilité des séquences est après vérifiée dans la seconde étape qui consiste à minimiser les temps d'attente devant les pistes en optimisant les chemins empruntés par les avions dans les zones d'attente [6].

Le problème d'ordonnement des avions peut être divisé en cas statique (les informations complètes de l'ensemble d'avions sont connues) et en cas dynamique (des décisions doivent être prises au fil du temps et les changements de situation).

La plupart des recherches ont considéré le problème d'ordonnement des avions comme un cas statique.

L'ordonneur FCFS a plusieurs avantages ; 1) il est facile à mettre en œuvre, 2) il réduit la charge de travail des contrôleurs de la circulation aérienne et méthode de séquençage équitable, et donc de nombreuses recherches ont été utilisés l'ordre FCFS comme opération de base : Rathinam et al. (2008) [7], Balakrishnan et al. (2006) [8]. L'ordre FCFS pourrait entraîner un espacement plus important entre les aéronefs. Un changement de séquence significatif par rapport à l'ordre FCFS pourrait ne pas être réalisable pour la mise en œuvre dans l'espace aérien réel. De plus, le reséquençage des aéronefs à partir de l'ordre du FCFS pourrait augmenter la charge de travail des contrôleurs de la circulation aérienne, car la TMA est un environnement extrêmement complexe.

Par conséquent, pour tenir compte de la flexibilité limitée de l'écart de séquence par rapport à l'ordre FCFS, les contraintes de décalage de position contraint (CPS) sont également prises en compte.

Les contraintes de déplacement de position restreint (CPS) sont également prises en compte. Avec la contrainte CPS, un aéronef peut modifier sa séquence avec d'autres aéronefs sous un nombre maximum de positions spécifié de l'ordre FCFS. En général, le

nombre maximum de postes décalés est indiqué par  $k$  entre 1 et 3, ce qui entraîne une contrainte  $k$ -CPS Balakrishnan et Chandran (2010) [9].

Balakrishnan et Chandran (2010) [9] présentent une plateforme dynamique pour l'ordonnancement des avions. L'algorithme, qui minimise le temps d'atterrissage du dernier aéronef, se généralise également aux fonctions objectives basées sur le retard. En plus des contraintes de séparation standard, il y a des contraintes sur la position déplacement, contraintes de priorité entre les aéronefs, et les contraintes imposées par le temps.

D'Ariano et al (2012) [10] affirment que les décisions d'ordonnancement peuvent être divisées en décisions d'acheminement, y compris la route que l'aéronef emprunte à travers la TMA, y compris les cercles d'attente, les segments aériens et les pistes, et les décisions d'établissement des horaires. Ils modélisent le problème comme un problème d'ordonnancement des tâches et l'utilisation d'une autre formulation graphique. L'objectif est de minimiser retard causé par la résolution de conflits dans TMA (terminal manoeuvring area). Le problème de planification est résolu utilisant la branche et lié, et le problème de routage est résolu en utilisant la recherche taboue. Résultats démontrés que la combinaison de l'acheminement et de l'ordonnancement est bénéfique pour réduire les retards.

Samà et al. (2013) [11] utilisent également l'approche graphique alternative pour résoudre le problème de programmation en supposant un routage fixe. Ils modélisent le cas dynamique à l'aide d'une approche à horizon variable. La branche et le solveur lié pouvaient trouver des solutions optimales dans la plupart des cas en 60 secondes, tandis que FCFS était beaucoup plus rapide mais produisait des délais beaucoup plus élevés.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné les problèmes liés à la gestion du trafic avion au sol et des outils automatisés de gestion du trafic ainsi que nous avons étudié les problèmes d'exploitation des avions de trafic au sol qui sont principalement centrés sur les Problèmes liés à la météorologie et Les problèmes liés aux performances des avions et Solution aux problèmes de la circulation des avions au sol et Le cadre opérationnel du trafic sol et dernier Exemple d'organisation du poste de contrôle du trafic au sol, Nous avons également fourni Un exemple de gestion aéroportuaire qui comprenaient chacun dès l'aéroport international d'Alger - Houari Boumediène et L'aéroport international d'Oran -

Ahmed Ben Bella<sup>2</sup> et L'Aéroport de Constantine dénommé « Mohamed Boudiaf», Ensuite, nous avons mentionné Etat de l'art liés à notre travail

# Chapitre 03

## Conception

## **Introduction**

Dans ce chapitre, nous allons parler en détail des premières étapes de notre application, la conception est une étape essentielle et critique pour la production d'une application de haute qualité. À ce stade, nous détaillerons notre choix conceptuel à travers de diagrammes, puis clarifierons les algorithmes que nous suivrons dans la partie de l'Implémentation de notre projet.

### **1) Présentation générale du système proposé**

Notre problématique générale est de présenter un système pour la gestion des départs et des arrivées dans les aéroports ou notre objectif est d'améliorer le débit aéroportuaire et réduire le retard de vol. Nous allons maintenant identifier les acteurs qui interagissent dans notre système, mais d'abord nous donnons une définition de ce que c'est un acteur.

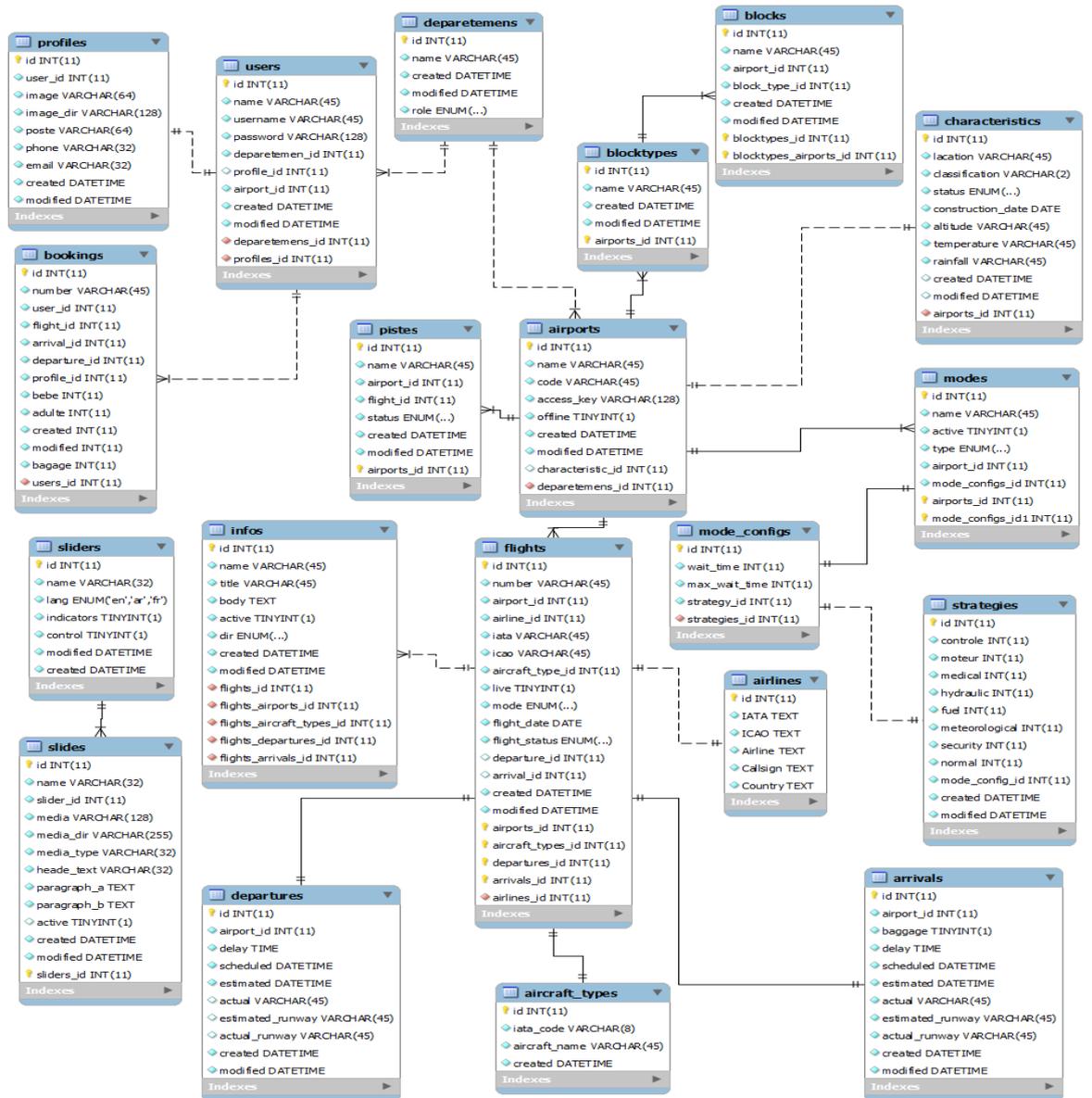


Figure 3.1 : diagramme des classes générale du système

## 2) Identification les acteurs du système

Les acteurs peuvent être considérés comme des entités extérieures au système avec lequel ils interagissent. Habituellement, il peut stimuler le système par l'entrée, ou devenir le récepteur de l'événement provient de ce système.

Le champ de recherche est si vaste qu'il est nécessaire de distinguer dans un premier temps les acteurs qui peuvent être regroupés en fonction de besoins spécifiques. Selon ces acteurs.

**Super ruser(informaticien)** : l'acteur considéré comme le plus interactif avec le système où il a de nombreux pouvoirs importants au sein du système a toutes les autorités pour exécuter le système et a la possibilité d'ajouter n'importe quel utilisateur dans le système et de contrôler les informations qui peuvent être affichées sur la page principale.

**Contrôleur** : acteur qui contrôle le trafic aérien et / ou terrestre sur la base d'informations transmises par différents systèmes. Il peut attribuer des itinéraires, transférer les trajectoires d'avions ou d'autres véhicules, et notifier les autres acteurs du système du ciel, du sol, En plus de tout cela, il aura le pouvoir dans notre système d'approuver l'atterrissage de l'avion ainsi que de gérer la liste de vol.

**Superviseur** : Il est l'acteur qui supervise toutes les opérations à l'intérieur de l'aéroport telles que l'atterrissage et le décollage des aéronefs et toutes les ressources qui dirigent l'aéroport et a le pouvoir de voir les statistiques et les développements.

**Passager** : est un acteur qui n'a la capacité d'interagir avec le système que superficiellement en accédant des informations sur les aéroports et les vols et en réservant.

**Vol** : Représente toutes les informations dont chaque passager a besoin du lieu de départ au lieu d'arrivée du vol, selon les besoins de Contrôleur pour connaître le type d'aéronef et toutes les informations relatives au placement de l'aéronef à l'intérieur de l'atmosphère de l'aéroport.

**Compagnies aériennes** : Toutes ces entreprises de l'Est fournissent régulièrement des liaisons directes entre les villes du monde entier et doivent développer des destinations pour leurs clients, elles doivent donc investir dans des avions de service du type et des capacités qui correspondent aux caractéristiques du marché cible, Chaque compagnie aérienne a des caractéristiques différentes, de sorte que chaque aéroport est tenu de s'y conformer.

**Arrivées :** Ce sont tous des avions qui arrivent à l'aéroport et la direction de l'aéroport doit organiser l'atterrissage de l'avion avec précision et professionnalisme pour éviter tout retard ou autre problème

**Départs :** Les heures de départ de chaque aéronef et aéroport d'où il part, et facturent au passage de connaître les heures de vol et au superviseur afin d'organiser l'aéronef au décollage.

**La piste :** est la surface réservée au décollage et à l'atterrissage des aéronefs et le superviseur est responsable de déterminer l'état de chaque piste en cas d'attente ou de mauvais fonctionnement ou de réception d'un avion.

### **3) Identification des classes participantes**

- Diagramme des classes participantes du C.U. « Etablir aéroport »

Ces classes sont tirées de la description textuelle du cas d'utilisation Etablir aéroport

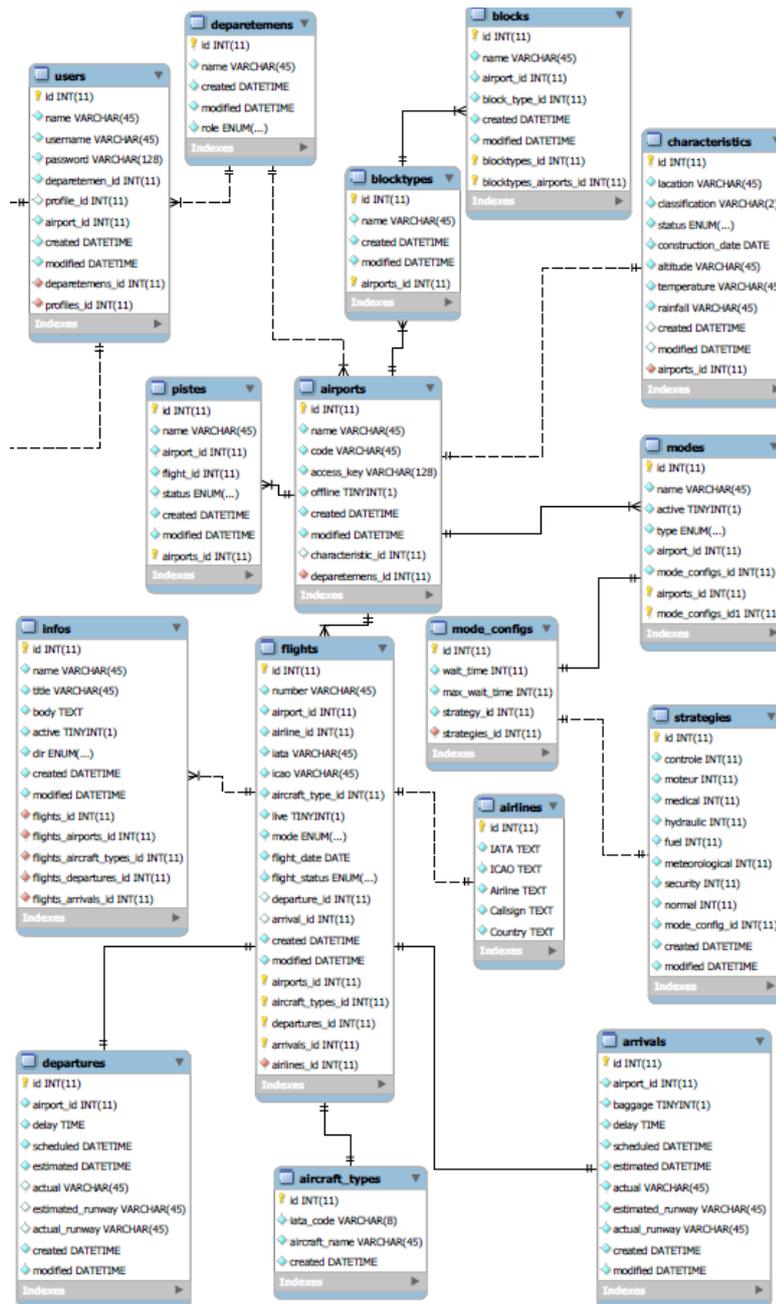


Figure 3.2 : diagramme des classes participantes du C.U. « *Etablir aéroport* »

- Diagramme des classes participantes du C.U. « *Ajouter employé* »  
Ces classes sont tirées de la description textuelle du cas d'utilisation Ajouter employé

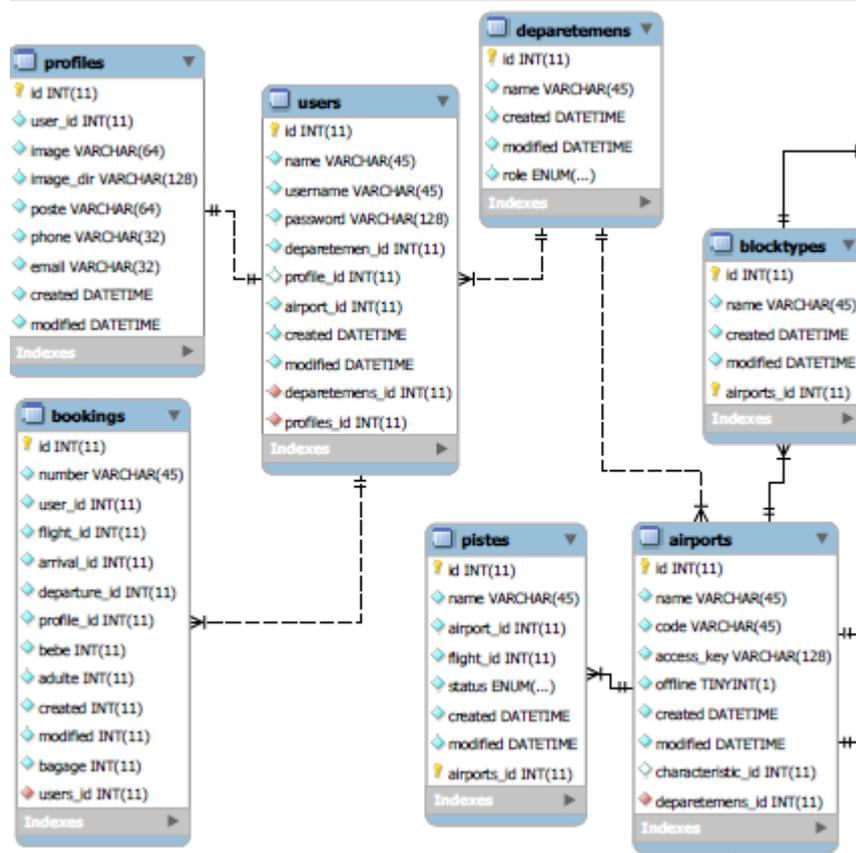


Figure 3.3 : diagramme des classes participantes du C.U. « *Ajouter employé* »

#### 4) Développement du model dynamique

##### 1ère Itération : C.U. « *Etablir aéroport* »

Parmi tous les scénarios possibles du cas d'utilisation (C.U.) établir aéroport nous allons nous intéresser aux scénarios suivants :

-ajouter aéroport : {ajouter nom, ajouter code, ajouter lacion, ajouter status, ajouter construction\_date, ajouter classification }

- modifier aéroport : {modifier nom, modifier code, modifier lacion, modifier status, modifier construction\_date, modifier classification }

- supprimé aéroport : {supprimé nom, supprimé code, supprimé lacion, supprimé status, supprimé construction\_date, supprimé classification }

- Opération système « ajouter aéroport » :

**Responsabilité** : Cette classe a pour responsabilité à l'ajout d'un nouvel aéroport dans le système et de toutes les informations qui y sont jointes.

**Référence** : cas d'utilisation Etablir aéroport.

**Pré conditions** : L'aéroport et toutes ses informations existent réellement.

**Scénario Nominal:**

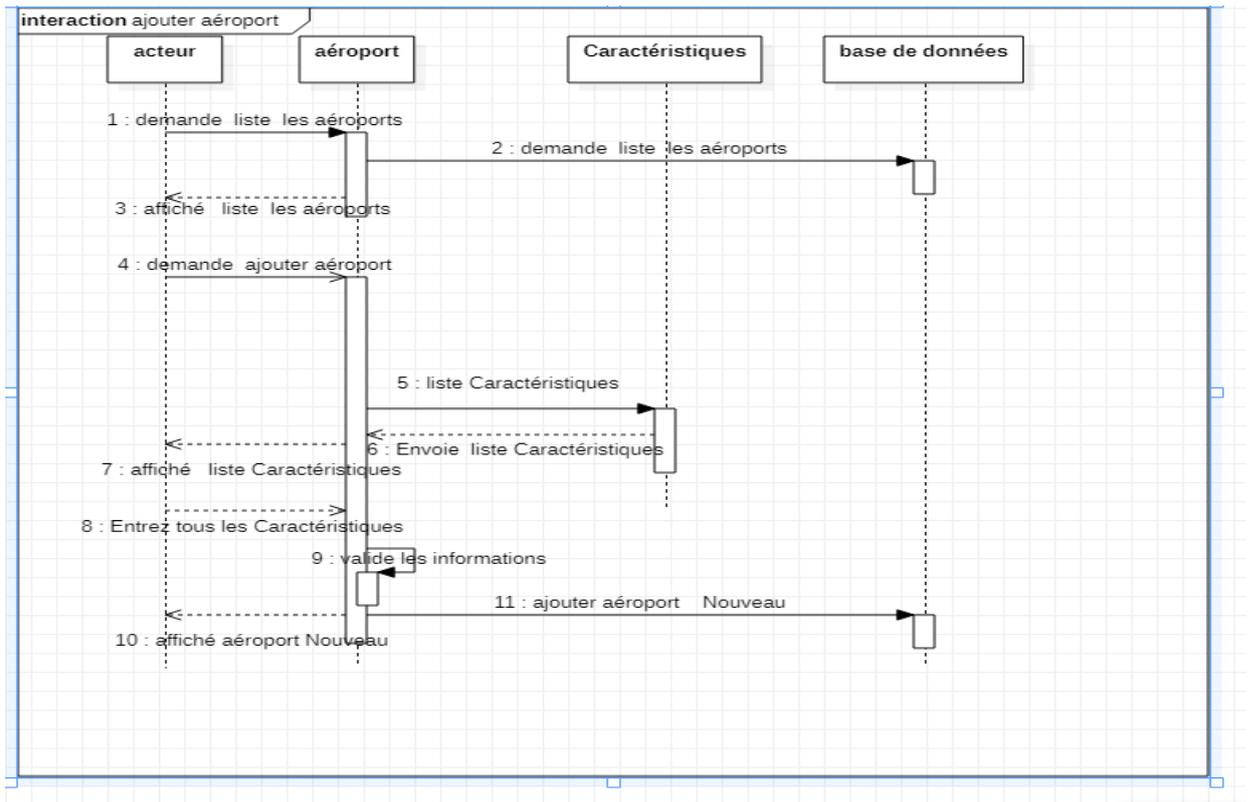
1. Cette opération commence lorsque l'utilisateur « Super user » demande au système d'ajouter aéroport.
2. Elle saisit les informations obligatoires d'aéroport (nom, code, location, classification...).
3. valide les informations.
4. ajoute aéroport à la liste des aéroports du système.

**Cas d'exception (scénario d'erreur)**

**en cas d'informations manquantes** : un message d'erreur est affiché à l'écran et lui demande de ressaisir ces informations. Après cela le processus reprend à l'étape 2 du scénario nominal.

**Exigences non fonctionnelles**

- L'application est fiable, robuste, efficace.
- L'aéroport est sécurisé pendant son établissement et aucune information ne peut se perdre.



**Figure 3.4 :** Diagramme de séquence l'opération système « ajouter aéroport »

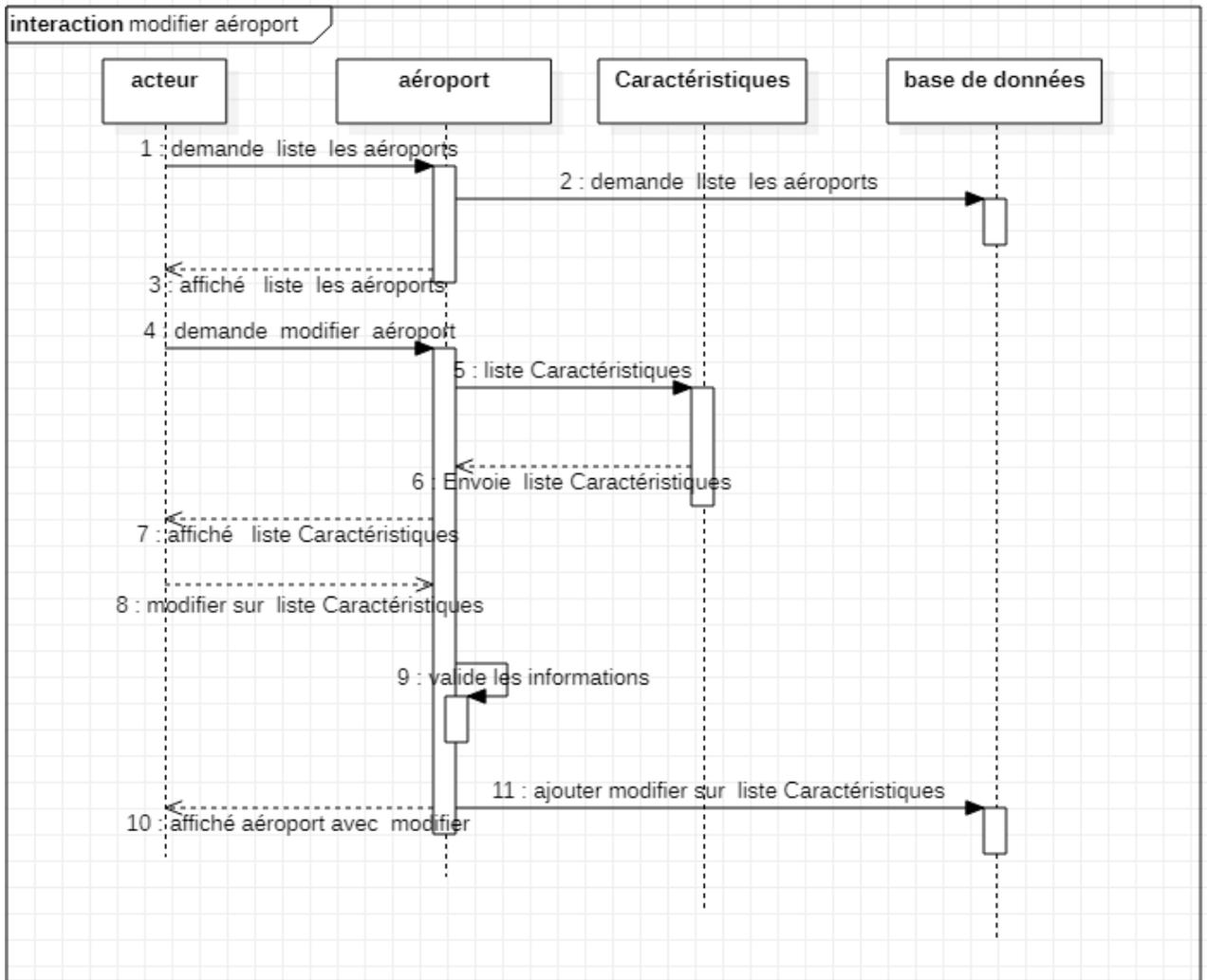
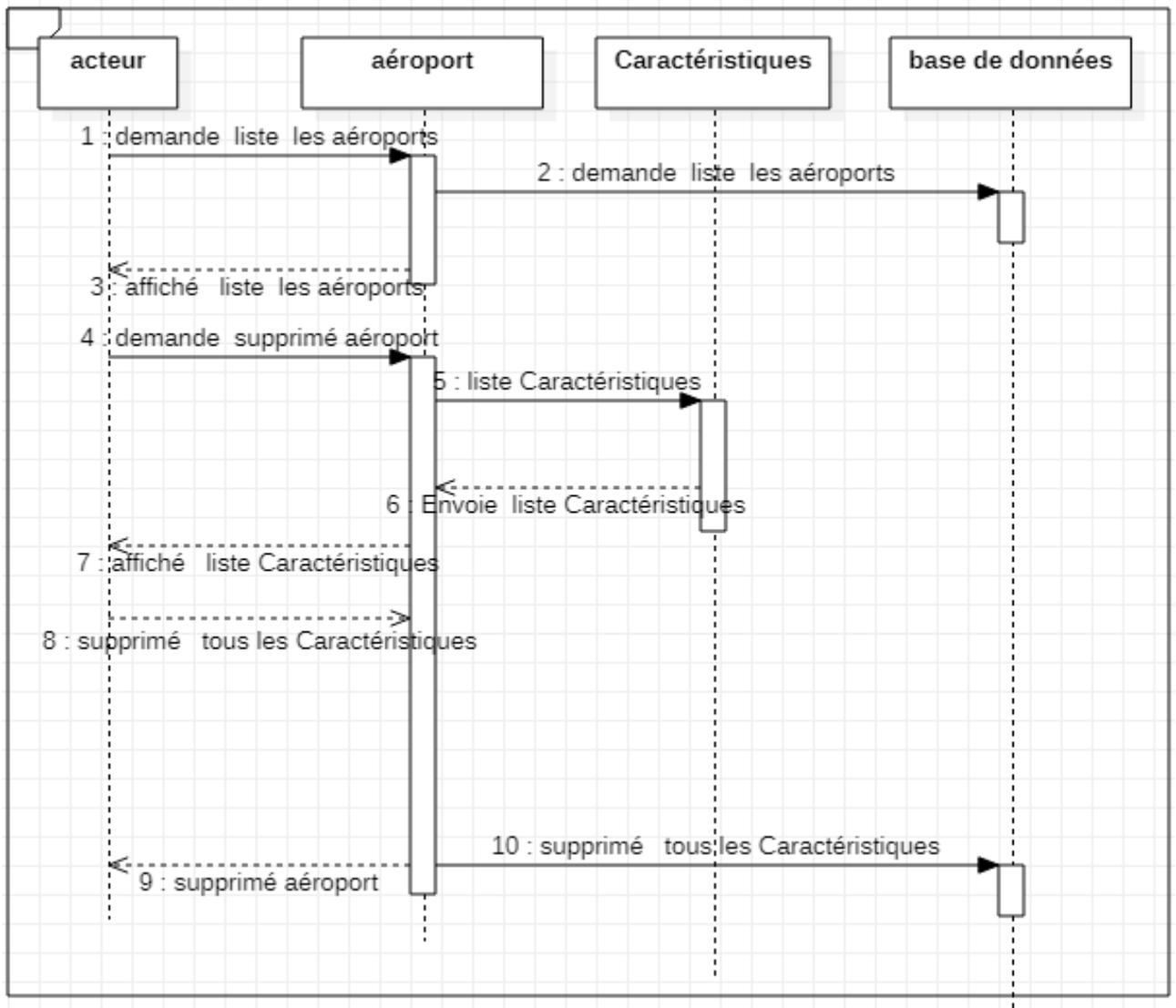


Figure 3.5 : Diagramme de séquence l'opération système « modifier aéroport »



**Figure 3. 6 :** Diagramme de séquence l'opération système « supprimé aéroport »

### 2ère Itération : C.U. « ajouter employé »

Parmi tous les scénarios possibles du cas d'utilisation (C.U.) ajouter employé nous intéresserons aux scénarios (opérations système) suivants :

#### Ajouter employé à " service informatique "

##### *Le rôle employé à " service informatique " :*

- Gérer les sites web(design)

Créer des " sliders" pour la page d'accueil, créer des informations que seraient afficher sur la page d'accueil

- Gérer les ressources

Ajouter/ modifier /supprimer / des autres utilisateur.

Ajouter/ modifier / supprimer / des aéroports.

Ajouter/ modifier / supprimer / des Avions.

**Ajouter employé à "contrôler"**

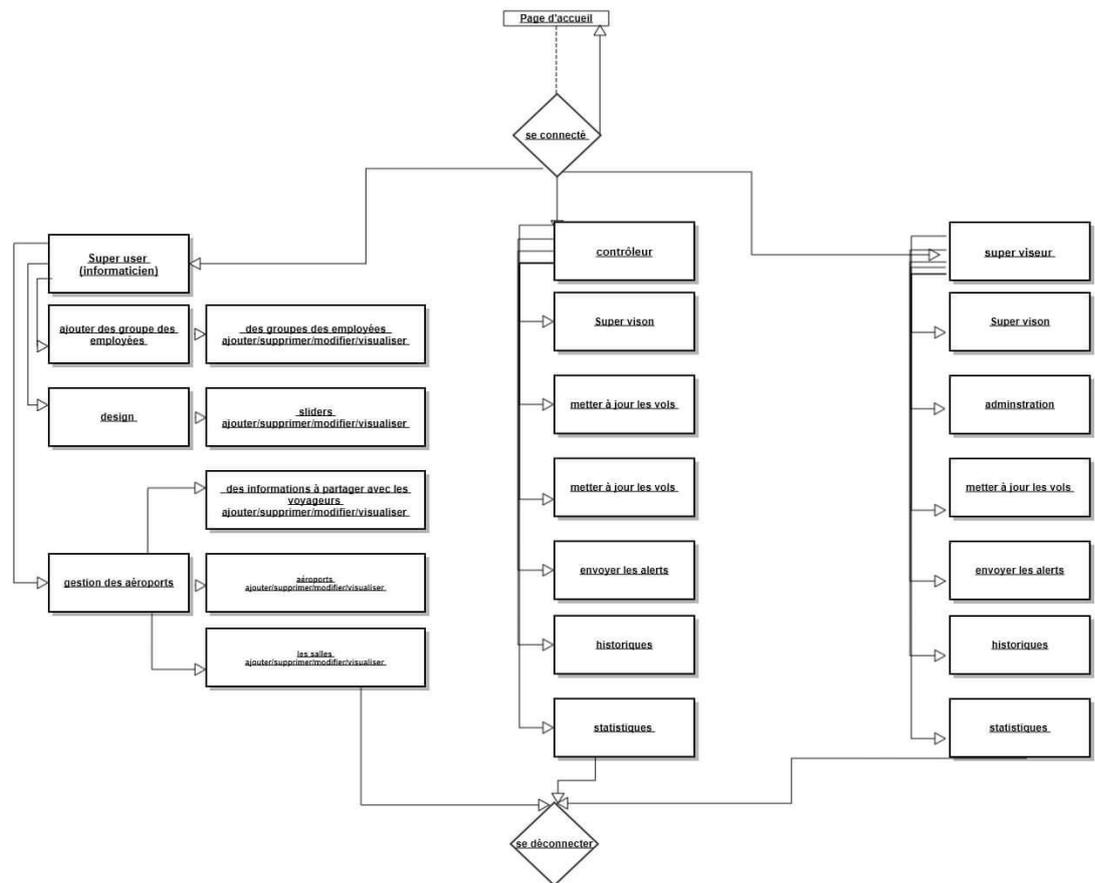
***Le rôle employé à " Contrôler " :***

- Contrôle des avions.
- Envoyer des alertes à "Super user".
- acceptant d'atterrir l'avion.
- gestion liste des vols.
- Visionner les statistiques.
- Visionner les historiques.

**Ajouter employé à " Super Vision"**

***Le rôle employé à " Super Vision" :***

- Supervisions l'aéroport.
- Vérifier les atterrissages des avions.
- Gestionner le ressources.
- Visionner les statistiques.
- Visionner les historiques.



**Figure 3.7 :** Le rôle employé à " service informatique " et " Super Vision " et " Contrôler "

**Opération système « Ajouter employé » :**

**Responsabilité :** Créer utilisateur est capable de contrôler et de superviser le site et Gestions de ressources

**Référence :** cas d'utilisation « Ajouter employer »

**Pré conditions :** authentification sur nom d'utilisateur et mot de passe

**Scénario Nominal**

1. Cette opération commence lorsque vous demandez l'accès d'un utilisateur au système
2. Il saisi les informations obligatoires( nom d'utilisateur et mot de passe).
3. Saisi les informations et Choisissez un rôle.
4. Valide le les informations.

**Scénario d'erreur**

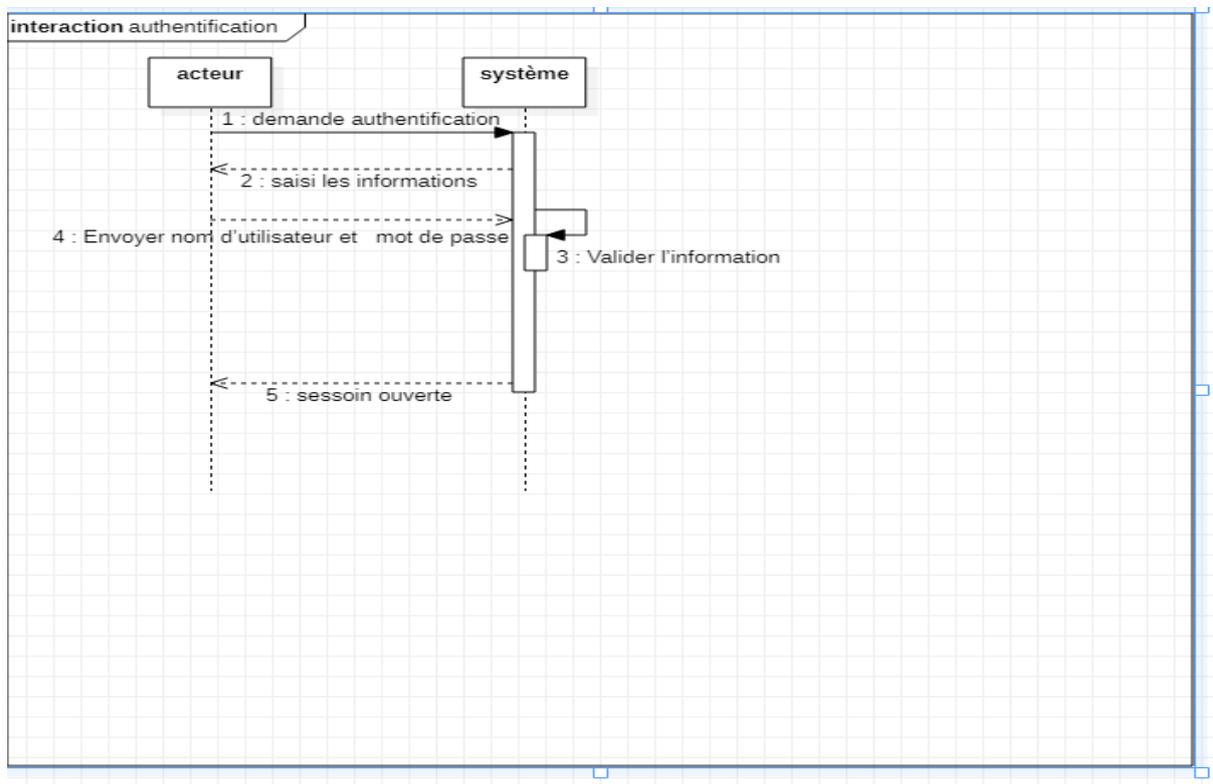
**En cas d'informations manquantes** : un message d'erreur est affiché à l'écran lui demandant de ressaisir ces informations. Après cela le processus reprend à l'étape 2 du scénario nominal

**Post conditions :**

Une instance de la classe " user" est créé avec ses attributs (nom d'utilisateur, mot de passe)

**Exigences non fonctionnelles :**

- ajouter " employé " est bien sécurisé et aucune information y figurant ne peut se perdre
- Le système est fiable, robuste.



**Figure 3.8 :** Diagramme de séquence l'opération système « authentification »

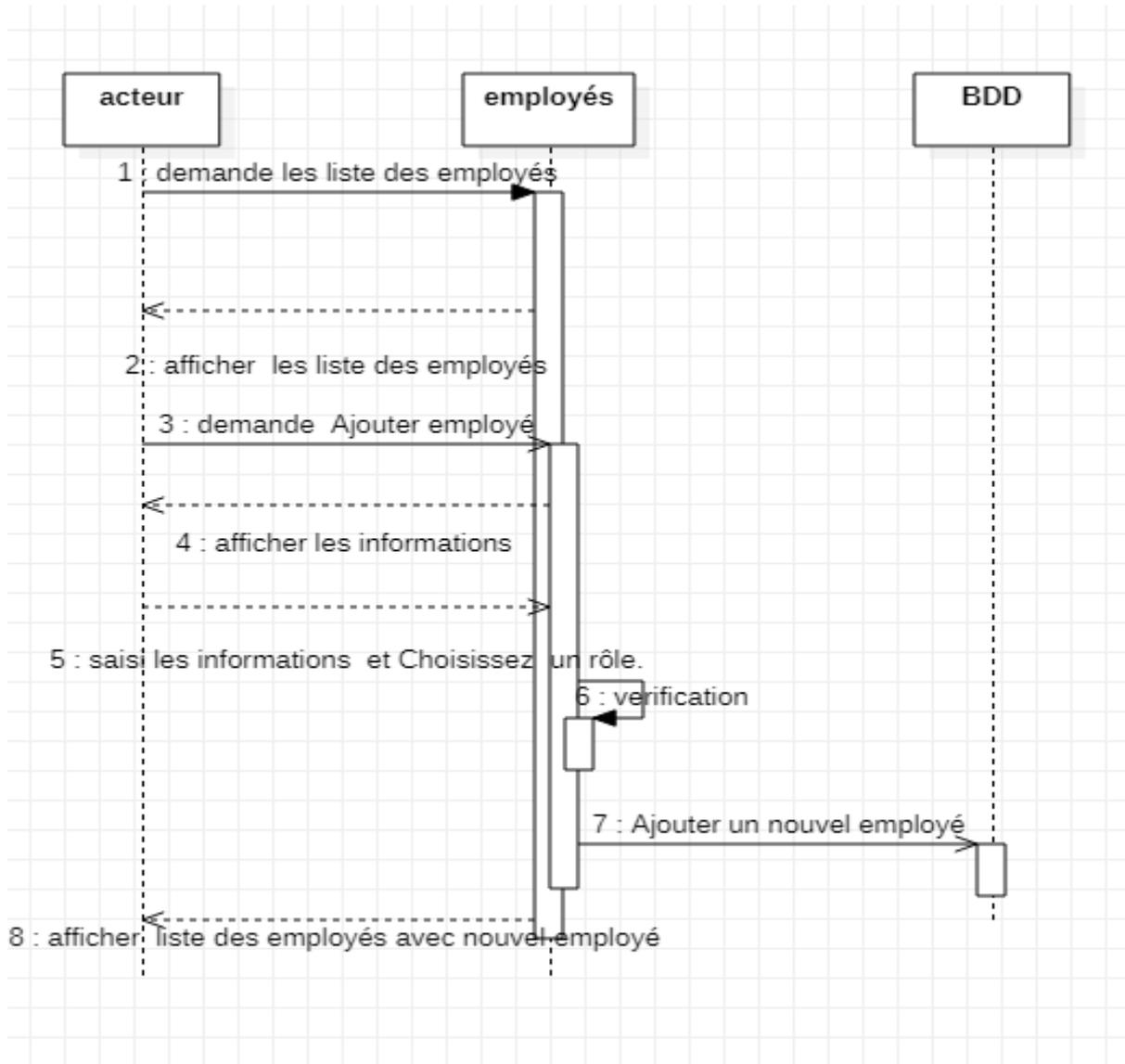


Figure 3.9 : Diagramme de séquence l'opération système « *Ajouter employé* »

## 5) les algorithmes proposés

### 5.1) algorithme FCFS

La méthode largement utilisée pour la planification l'atterrissage d'un ensemble d'avions est FCFS, Premier arrivé, premier servi -, où l'atterrissage de l'avion est effectué dans l'ordre de leur arrivée sur le Traffic Management Advisor (TMA) de l'aéroport. Dans ce cas, le contrôleur aérien fournit le temps de séparation minimum requis entre deux aéronefs.

Pour le mode automatique, L'idée : nous allons mettre tous les avions qu'ayant demandé l'atterrissage dans un file attente que nous permettras de définir ou la nécessité de chaque demande d'atterrissage en temps réel (temps de chaque avion dans un file attente).

Ce que donne au manager une vue général de tous ce que passe au circuit d'attente, nommé aussi "hippodrome" ou "stack".

Afin que nous puissions réaliser cette idée nous somme basés sur la règle du FC FS suivante :

$$P = (TRatt / TSmax) + (VP+k).$$

Puisque nous en train de réaliser une application pour l'utilisation en mode industriel, nous avons choisi un coefficient de la qualité que ne passe pas 0.25. Ce coefficient gardera un taux de garantie au pilote en cas du retard au validation de l'atterrissage. Vp que soit dans type de traitement des données, un value fixe qu'égale au 0.

<b>P</b>	Poids d'appel
TRatt	Temps d'attente maximum du prochain vol sur le circuit d'attente à l'instant t.
TSmax	Seuil d'attente maximum paramétré sur le vol.
VP	Valeur du Poids (pistes) correspondant à la priorité Valeur du Poids (pistes) correspondant à la priorité un, value fixe qu'égale au 0
K	Coefficient de qualité (valeur paramétrable, 0.25 par défaut).

**Tableau 3.1** : éléments la règle circuit d'attente

FCFS a deux avantages ; il est facile à mettre en œuvre et il minimise également le nombre de déviations d'aéronefs. L'inconvénient majeur de cette méthode est que Cette méthode nous garantit un flux non flexible, dans les cas anormaux, imaginez un avion avec un moteur auquel il faut s'attendre à son tour pour l'atterrissage qui peut dépasser la capacité mécanique de cet avion, également en cas de sinistre non nous pas pourrons donner la priorité aux avions avec des problèmes techniques ou des urgences médicales ou autres ainsi l'avion de la faible vitesse peut affecter le temps d'atterrissage des autres vitesses, par la suite, le coût global de l'atterrissage. Aussi, Le FCFS n'offre pas plus de flexibilité aux contrôleurs aériens. Ces limitations nous ont motivé à développer un nouvel algorithme FCFS avancé.

## 5.2) Algorithme avancé (FCFS avancé)

Bien que l'algorithme FCFS établisse un ordre équitable en fonction des heures d'arrivée estimées, il ne tient pas compte des priorités individuelles des compagnies aérien dans l'algorithme de planification proposé, les aéronefs sont ordonnés selon leur rang de priorité. Les superviseurs ont la possibilité de changer le VP et les priorités en temps réel, afin que les aéroports puissent gérer toutes les demandes d'atterrissage pendant la période de risque et de catastrophe.

Les étapes principales de l'algorithme proposé sont les suivantes :

**Étape 1 :** Initialiser un ensemble de l'aéronef qui vole à un temps donné et mettre tous les avions qu'ayant demandé l'atterrissage dans un file attente.

**Étape 2 :** Éliminez les avions qui avaient terminé leur un atterrissage.

**Étape 3 :** Planifier les opérations d'atterrissage des avions en fonction la stratégie d'ordonnancement FCFS avec priorité, et calculer le coût d'atterrissage (temps) de chaque avion.

**Etape 4 :** Déterminer le coût global d'atterrissage d'une séquence des avions.

**Algorithme ;** FCFS avancé

Const n=16 ;

/\* CA : code d'avion\*/

/\*HA : Heure d'arrivée\* /

/\*pbs : les problèmes\*/

/\*LA : L'heure Actuelle\*/

/\*X : la différence des horaires entre l'heure actuelle LA et l'heure d'arrivée HA d'un vol\*/

/\*EV : événement\*/

**Variable :**

EV : entier ;

CA : entier ;

HA, LA, X : réel ;

pbs : entier ;

P : dim [1...n] entier ;

V : dim [1...n, 3] réel ;

Tab : dim [1...n, 1...3] d'atterrissage ;

/\*qui contient, le code de l'avion, l'heure, le problème lié à l'avion \*/.

/\*V : tableau des avions et leurs arrivées \*/

Var V : Tab ;

/\*On ajoute une procédure pour remplir le tableau de données des avions et leurs arrivées \*/

Procédure remplissage (var V : Tab ; m, j : entier) ;

Var i : entier ;

**Début**

Pour i de 1 jusqu'à m faire

```

Ecrire ('donné tous les référence de l'avion ',i) ;
Pour j de 1 jusqu'à 3 faire
Lire (v [i, j]) ;
    Fin pour
Fin pour
Pour i de 1 jusqu'à n faire
P[i]= entier V [i, 3];
Fin pour
Tant que EV == 100 faire
Lire (EV) ;
/*impression de l'arrivée des avions*/
Pour i=1jusqu'à n faire
    X=V [i, 2] -LA, /*heure d'arrivée*/
Lire (' l'arriver de l'avion i dans X heure') ;
Si X<0.10 alors
Impression (l'avion i doit atterrir)
Fin si
/*Séparation des avions qui arrive en même temps */
i=1 ;
Tant que i <=n-1
Pour j=i+1 jusqu'à n faire
X=V [i, 2] -V [j, 2] ;
Si X<=0.1 alors
Impression ('Il faut séparer l'avion ' i ' de l'avion ' j') ;
i=i+1 ; fin pour
Fin tant que
Si EV =1 alors
PV= [] ;
/*inséré un nouvel avion dans le tableau de données V*/
    i=i+1
Lire ('CA') ;
Lire ('HA') ;
Lire ('pbs') ;
V [i, 1] = CA;
V [i, 2] = HA;
V [i, 3] = pbs;
Fin si.
Si EV=2 alors
    /*pistes fermées*/
/*déviation des avions sur d'autre aéroport */
Fin si
Si EV=3 alors
/* définir les poids de la priorité */

/*Pour chaque type priorité comme index et valeur */

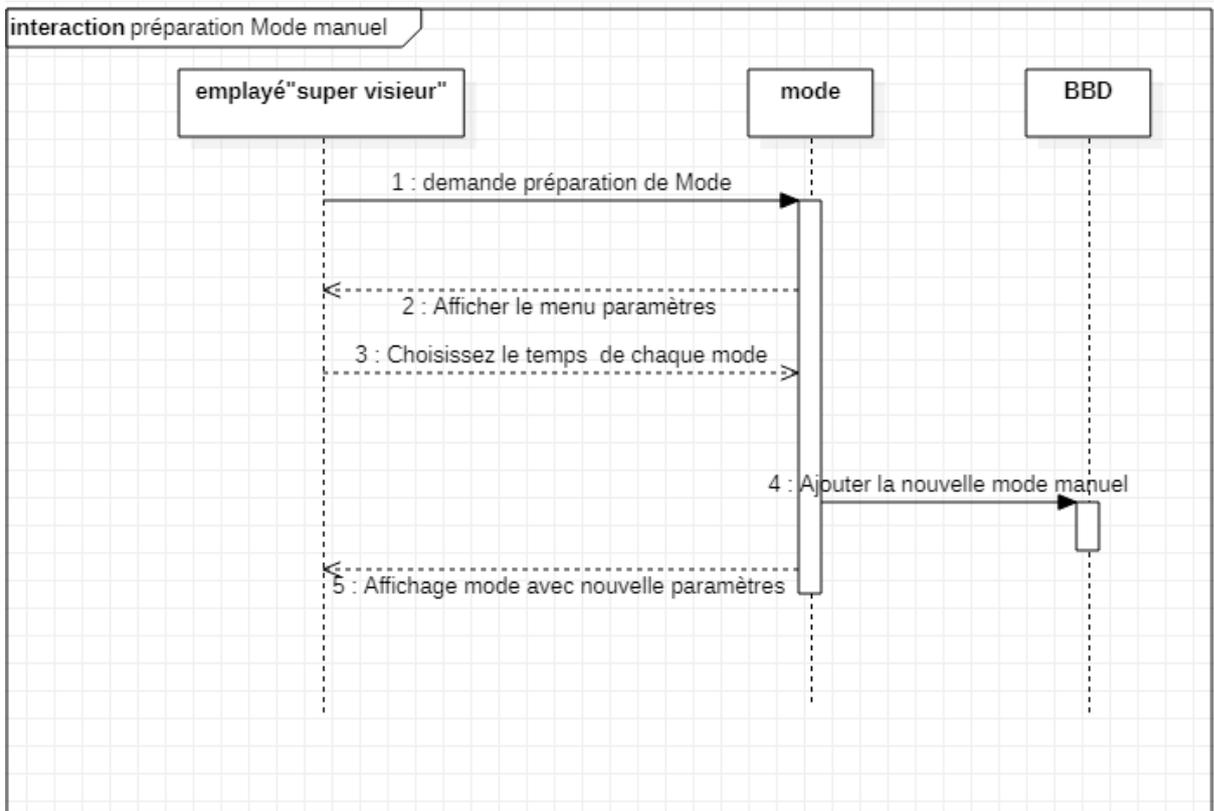
/* Affichez introduire la valeur correspondante au index
Pv[index]= valeur */
/*lire la valeur

```

```

Pour i de 1 jusqu'à m faire
Switch (P[i])
Case 1 : écrire (' la perte de contrôle ')
Atterrissage d'urgence pour l'avion V [i, 1]
Break ;
Case 2 : écrire (' la panne moteur')
Atterrissage d'urgence pour l'avion V [i, 1]
Break ;
Case 3 : écrire ('l'urgence médicale')
Atterrissage d'urgence pour l'avion V [i, 1]
    Break ;
Case 4 : écrire (' la perte des systèmes hydraulique ')
Atterrissage d'urgence pour l'avion V [i, 1]
Break ;
Case 5 : écrire (' manque de carburant')
Atterrissage d'urgence pour l'avion V [i, 1]
Break ;
Case 6 : écrire (' difficultés météorologiques')
Atterrissage d'urgence pour l'avion V [i, 1]
Break ;
    Case 7 : écrire ('problèmes de sécurités ')
Atterrissage d'urgence pour l'avion V [i, 1]
Break ;
Case 8 : écrire ('cas normal')
Break ;
Default : écrire (' erreur, vous n'avez pas tapé un chiffre \n') ;
Fin Switch
Fin si
Si EV=4 alors
/*plusieurs avion arrive en même temps*/
Séparation l'atterrissage des avions avec un intervalle de temps de 3 minute
Fin si
Si EV=5 alors
/* l'avion i a atterrit, on le supprime du tableau d'arrivage des avions*/
Pour i de i jusqu'à m-1 faire
Pour j de 1 jusqu'à 3 faire
V [i, j] =V [i+1, j] ;
    Fin pour
Fin pour
Fin si
Fin tant que
Fin
    Fin du programme.

```



**Figure 3.10 :** Diagramme de séquence l'opération système « Mode manuel (FCFS avancé) »

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé les premières étapes de notre application, représentés par la conception complète et les étapes de base à travers développer un nouvel algorithme FCFS avancé algorithme de planification proposé, les aéronefs sont ordonnés selon leur rang de priorité. Les superviseurs ont la possibilité de changer le VP et les priorités en temps réel, afin que les aéroports puissent gérer toutes les demandes d'atterrissage pendant la période de risque et de catastrophe.

# Chapitre04

## Implémentation

## Introduction

Dans ce dernier chapitre, nous allons énumérer les outils software et hardware que nous avons utilisés pour réaliser notre application.

En expliquant les outils utilisés dans la programmation et la préparation de cette application, ce chapitre expliquera le travail que nous appliquons avec les interfaces de notre application.

### 1) Atelier de Génie Logiciel

Afin de mettre en œuvre n'importe quelle application, la première étape est la sélection des langages de programmation et des Framework à utiliser dans l'application, ainsi que la sélection du système que gestionnera la base de données.

#### 1.1) Langage de programmation :



**HTML5** : est la cinquième révision du langage de programmation HTML qui permet de décrire le contenu et l'apparence des pages Web.

HTML5 a été développé pour résoudre les problèmes de compatibilité de la norme actuelle, HTML4. Cette version, à la différence des précédentes, n'exige pas l'utilisation d'API ou de plug-ins propriétaires.

HTML5 propose une interface commune qui facilite le chargement des éléments et rend inutile l'installation d'un plug-in Flash, par exemple, car ces éléments s'exécutent tout seuls.

L'un des objectifs qui sous-tendent la création de HTML5 est la prise en charge des documents multimédia sur les terminaux mobiles. Pour cela, des fonctions syntaxiques ont été créées, comme les balises vidéo, audio et canvas [6].



**Css3** : Les feuilles de style en cascade, généralement appelées CSS de l'anglais Cascading Style Sheets, forment un langage informatique qui décrit la présentation des documents HTML et XML. Les standards définissant CSS sont publiés par le World Wide Web Consortium (W3C). Introduit au milieu des années 1990, CSS devient couramment utilisé dans la conception de sites web et bien pris en charge par les navigateurs web dans les années 2000 [4].



**jQuery** : est une bibliothèque JavaScript rapide, petite et riche en fonctionnalités. Il rend des choses comme le document HTML traversa et la manipulation, la manipulation

d'événements, l'animation, et Ajax beaucoup plus simple avec une API facile à utiliser qui fonctionne à travers une multitude de navigateurs. Avec une combinaison de polyvalence et d'extensibilité, jQuery a changé la façon dont des millions de personnes écrivent JavaScript [7].

## 1.2) Framework d'application



**CakePHP 3.9** : est conçu pour faciliter et simplifier les tâches classiques du développement web. En fournissant une boîte à outil tout-en-un pour vous aider à démarrer, les différentes parties de CakePHP fonctionnent aussi bien ensemble que séparément.

CakePHP fournit une structure organisationnelle de base qui comprend les noms de classes, les noms de fichiers, les noms de table de base de données, et d'autres conventions. Même si les conventions peuvent paraître longues à apprendre, en suivant les conventions offertes par CakePHP, vous pouvez éviter les configurations inutiles et construire une structure d'application uniforme ce qui facilite le travail quand vous travaillez sur de multiples projets [8].



**Bootstrap 4** : est un framework développé par l'équipe du réseau social Twitter. Proposé en open source, ce framework utilisant les langages HTML, CSS et JavaScript fournit aux développeurs des outils pour créer un site facilement. Ce framework est pensé pour développer des sites avec un design responsive, qui s'adapte à tout type d'écran, et en priorité pour les smartphones. Il fournit des outils avec des styles déjà en place pour des typographies, des boutons, des interfaces de navigation et bien d'autres encore. On appelle ce type de Framework un "Frontend Framework"[9].

## 1.3 )Système de gestion de base de données



**MySQL 5.7** : est un système de gestion de bases de données relationnelles (SGBDR). Il est distribué sous une double licence GPL et propriétaire. Il fait partie des logiciels de gestion de base de données les plus utilisés au monde<sup>3</sup>, autant par le grand public (applications web principalement) que par des professionnels, en concurrence avec Oracle, PostgreSQL et Microsoft SQL Server [10].

## 1.4) Enivrement du travail (le web server local)



**WampServer** : est une plate-forme de développement Web sous Windows pour des applications Web dynamiques à l'aide du serveur Apache2, du langage de scripts PHP et d'une base de données MySQL. Il possède également PHPMyAdmin pour gérer plus facilement vos bases de données [11].

## 2) Démonstrations des interfaces :

Dans cette partie, nous allons expliquer en détail les scénarios de l'application et comment il fonctionne et l'utiliser avec démonstrations des interfaces Pour chaque scénario.

### ○ Page d'accueil.

Airline	Flight	Arrival	Estimade time	Status
Air Algerie	6033	Houari Boumediene	May 28th 2021, 2:10:00 pm	scheduled

Figure 4.1 : Page d'accueil

C'est la page d'accueil qui s'affiche les accès à notre application, elle est constituée de parties principales :

La partie de réservation qui permet à chaque passager de réserver sur le vol ou l'avion qu'il veut.

- Informations sur les aéroports et les vols Départ / Arrivé.
- Informations générales qui apparaissent en mouvement.
- La partie contact qui permet à chaque utilisateur de communiquer avec nous.

- *Réservation*

De cette façon, nous avons donné la possibilité au chaque voyageur de réserver un ou plusieurs places sur une avion vers son destination préféré. Après avoir rempli le formulaire suivant (**Figure 4.2**).

Le passager aura un des deux choix ; book s'il est bien se connecter avec son nom d'utilisateur et son mot de passe ou bien se connecter s'il n'est pas encore se connecté.

Afin que le visiteur puisse réserver son avion, il doit se connecter au site ou bien crée son propre profile.

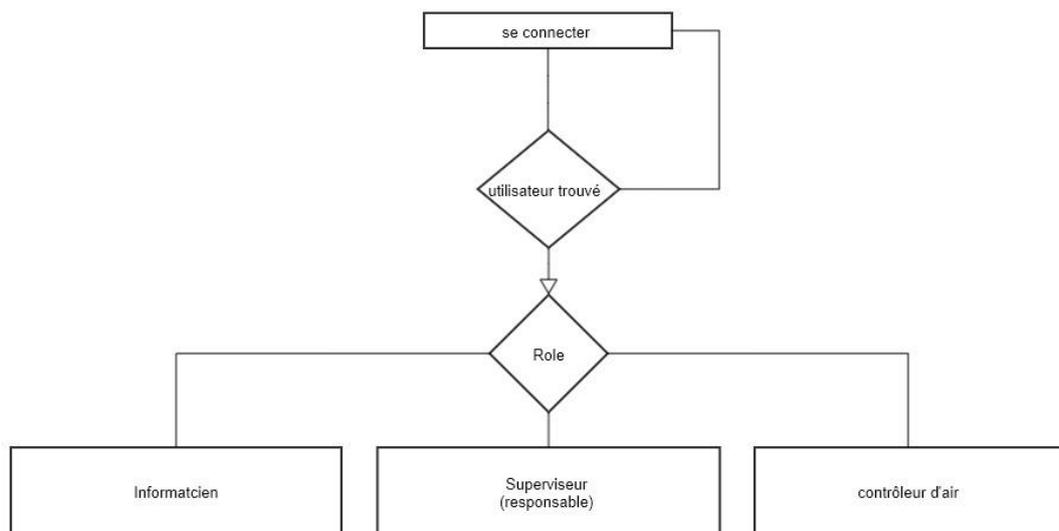
**Figure 4.2** : Page les informations de la réservation

- *Authentication*

Par conséquent, chaque utilisateur peut authentifier son accès

**Figure 4.3 :** authentification

Afin que nous puissions gérer cette partie nous allons choisir la manière suivante pour distinguer les tâches ça dépend le rôle indiqué à l'utilisateur.

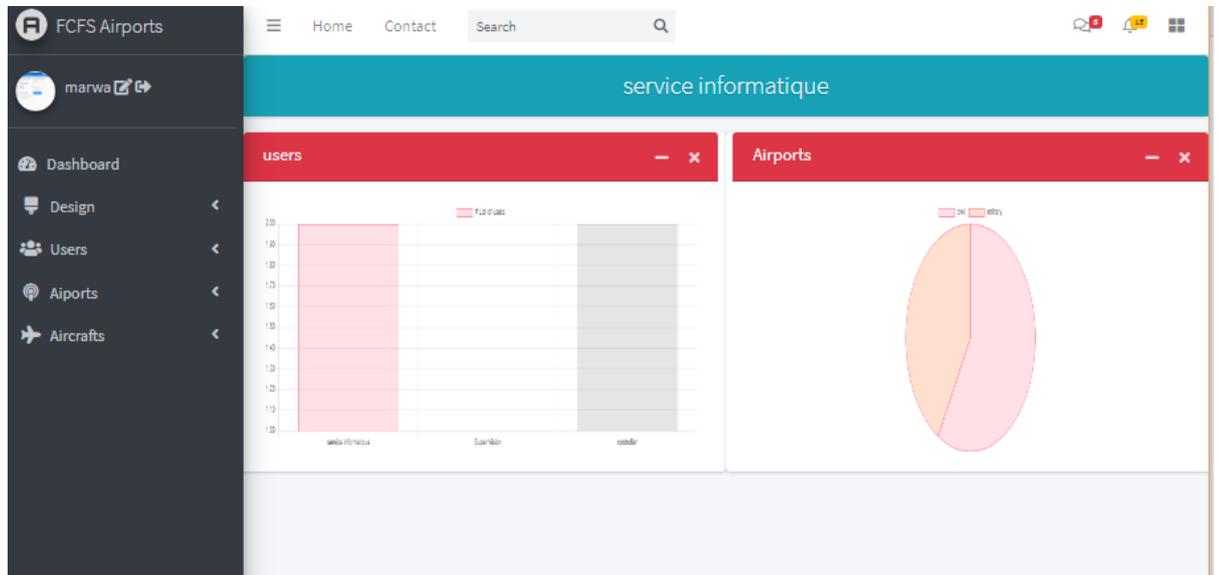


**Figure 4.4 :** le rôle indiqué à l'utilisateur.

## 2.1) Le rôle informaticien :

La page suivante représente le tableau de bord d'un informaticien ou il est capable de visionner le chart de présentation afin qu'il puisse avoir une vue générale sur l'ensemble de configuration. Ainsi il aura la possibilité de gérer les ressources cet application, par exemple il est capable d'ajouter, supprimer ou

modifier un utilisateur. Également il a une vue sur les statistiques de toutes les aéroports et les employés encodé dans le system.



**Figure 4.5 :** Dashboard du service informatique

### 2.1.1) La gestion de la site web (Design et Template)

Cet application est developé sous la forme d'un CRM ou le gestioner de contenu est capable de modifier les contenu à l'aide d'un interface web.

Nous avons choisi le model que suivre pour prospérer une template facil et lisible à notre visiteur , pour s'assurer que toutes les catégories sont en mesure d'obtenir des informations utiles sur notre site Web.



**Figure 4.6 :** le model que suivre pour proposer une Template

- ***Création d'un 'Slider' ou bien un carrousel***

Le role de slider c'est informer les visteur avec une manière claire à l'aide des images et text informatif .

l'utilisateur qu'ont le role d'informaticien sont capable d'ajouter , supprimer des slides une fois il est se connecter , il suffit du cliquer sur la catergorie design et ensuite choisi slider .

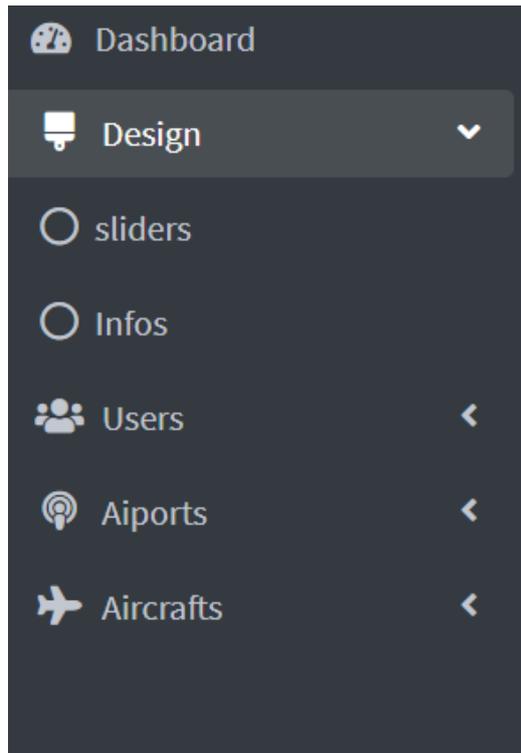


Figure 4.7 : choisi slider .

Use case 1.1 : Création d'un nouveau slide .

A screenshot of a web application interface. At the top, there is a navigation bar with 'Home', 'Contact', and a search bar. Below the navigation bar, the page title is 'Slider'. The main content area is a form titled 'Form' with a blue header. The form contains the following fields: 'Name' (a text input field), 'Lang' (a dropdown menu with 'choose a language' selected), 'Indicators' (a checkbox), and 'Control' (a checkbox). At the bottom left of the form is a green 'Submit' button.

Figure 4.8 : Page les informations de l'ajouter « Slider »

The image shows a web form titled "Slide" with a blue header bar. The form contains the following sections:

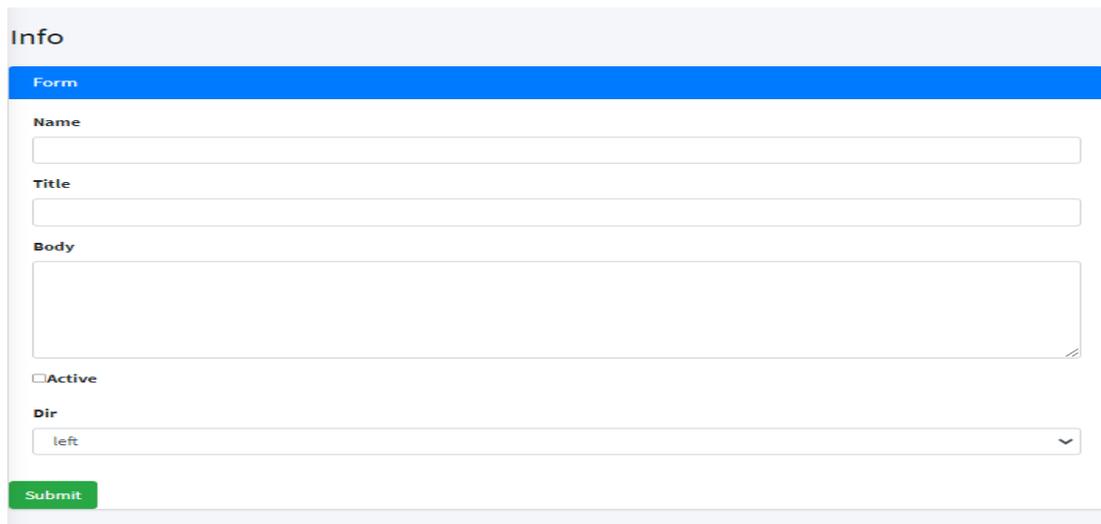
- Name:** A text input field containing "Airport Managements".
- Media:** A file upload area with a button "Choisir un fichier" and the text "Aucun fichier choisi".
- Heade Text:** A text input field containing "Airport Managements".
- Paragraph A:** A rich text editor with a toolbar and the text "Bienvenue à Airport Management Tools".
- Paragraph B:** A rich text editor with a toolbar and the text "améliorer vos gestions".

**Figure 4.9 :** Page les informations de « slider »

#### Use case 1.2 : Création des textes informatifs

Les textes informatifs :

Ils sont des textes à afficher en mouvement sur la page d'accueil pour informer les visiteurs s'il y'a des changements sur les line ou bien des informations générales que peuvent être utiles aux notre visiteur.



The screenshot shows a form titled 'Info' with a blue header bar labeled 'Form'. The form contains the following elements:

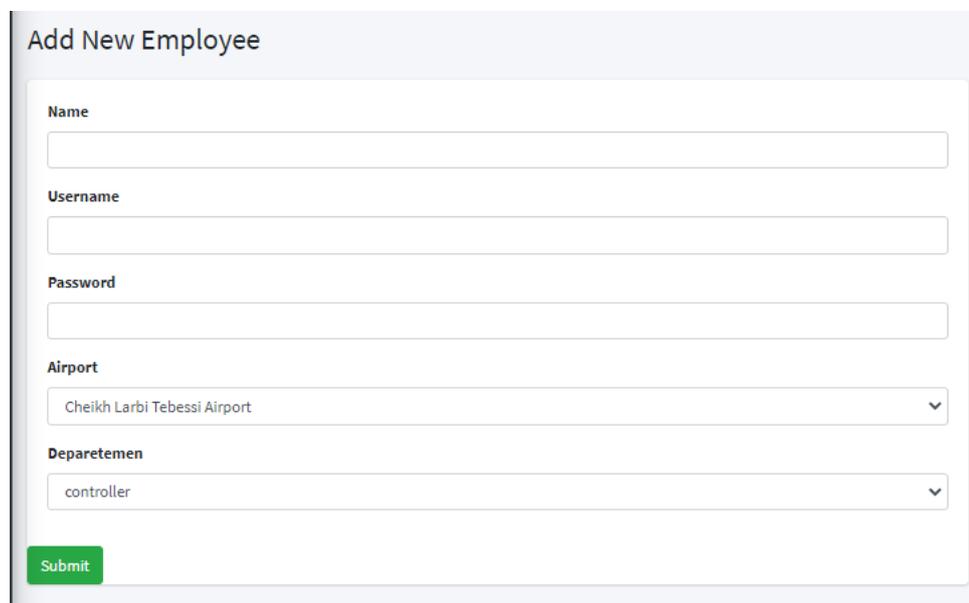
- Name:** A text input field.
- Title:** A text input field.
- Body:** A large text area for a longer description.
- Active:** A checkbox.
- Dir:** A dropdown menu with 'left' selected.
- Submit:** A green button at the bottom left.

**Figure 4.10 :** l'ajouter les informations

## 2.1.2) Gestions de ressources

Use case 1.3 : Création d'une employée.

Cette page représente comment nous pouvons d'ajouter un nouveau employé ainsi que choisir l'aéroport où il travaille.



The screenshot shows a form titled 'Add New Employee' with the following fields:

- Name:** A text input field.
- Username:** A text input field.
- Password:** A text input field.
- Airport:** A dropdown menu with 'Cheikh Larbi Tebessi Airport' selected.
- Departemen:** A dropdown menu with 'controller' selected.
- Submit:** A green button at the bottom left.

**Figure 4.11:** les informations de l'ajouter employée

**Pour affichage :**

id	name	username	password	Airport	departement	role	user Profile	created	modified
1	marwa	marwa	hidden	Cheikh Larbi Tebessi Airport	service informatique	superUser	 	28/02/2021 10:20	28/02/2021 11:42
5	Super viseur 1	superv001	hidden	Cheikh Larbi Tebessi Airport	Super Vision	supervision	 	16/03/2021 14:48	16/03/2021 15:00
6	controller001	controller001	hidden	Cheikh Larbi Tebessi Airport	controller	control	 	20/03/2021 11:59	22/05/2021 13:22
10	test	test	hidden	Cheikh Larbi Tebessi Airport	controller	control	+	07/05/2021 19:16	07/05/2021 19:16
11	test2	user@email.com	hidden	Cheikh Larbi Tebessi Airport	service informatique	superUser	+	15/05/2021 11:22	15/05/2021 11:23

**Figure 4.12:** affichage liste les employées

Use case 1.4 : Création d'un département

Cette page représente comment créer un nouveau département et déterminer les tâches à exercer et le rôle à l'intérieur de l'aéroport.

### Departemen

Form

**Name**

**Role**

Choose the department ▼

Submit

**Figure 4.13 :** les informations de l'ajouter département

**Pour affichage :**

id	name	created	modified	role	
1	controller	27/02/2021 17:42	20/03/2021 12:00	control	  
2	service informatique	27/02/2021 18:55	27/02/2021 18:55	superUser	  
3	Super Vision	16/03/2021 14:42	16/03/2021 14:42	supervision	  

**Figure 4.14:** affichage liste les départements

Use case 1.4 : création d'un aéroport

Cette page représente comment ajouter un nouvel aéroport à la base de données de l'application.

**Add new Airport**

Name

Access Key

Code

Offline

**Figure 4.15 :** les informations de l'ajouter aéroport

**Pour affichage :**

id	name	code	access_key	offline	created	modified	characteristic_id
1	Cheikh Larbi Tebessi Airport	TEE	42a6b10af1ab5d36cca1c5ebbf7fe9a	non	28/02/2021 14:08	22/05/2021 13:19	 
3	Aéroport de Batna - Mostefa Ben Boulaid	BLJ		yes	26/04/2021 22:52	26/04/2021 22:59	 
4	Oum el Bouaghi Airport	DABO		yes	15/05/2021 11:51	15/05/2021 11:53	 
5	Houari Boumediene Airport	ALG		yes	15/05/2021 12:40	15/05/2021 12:47	 
6	Chlef International Airport	CSK		non	15/05/2021 12:41	16/05/2021 09:20	 
7	L'Mekrereg Airport	LOO		yes	15/05/2021 12:41	15/05/2021 12:47	 
8	Guemar Airport	ELU		yes	15/05/2021 12:41	15/05/2021 12:48	 
9	Mohamed Boudiaf International Airport	CZL		yes	15/05/2021 12:42	15/05/2021 12:48	 
10	Aïn Oussera Airport	DAAQ		yes	15/05/2021 12:42	15/05/2021 12:44	 
11	Boufarik Airport	DAAK		yes	15/05/2021 12:43	15/05/2021 12:44	 
12	Bousfer Air Base	DAOE		yes	15/05/2021 12:43	15/05/2021 12:44	 
13	Oran Tafraoui Airport	TAF		yes	15/05/2021 12:43	15/05/2021 12:45	 

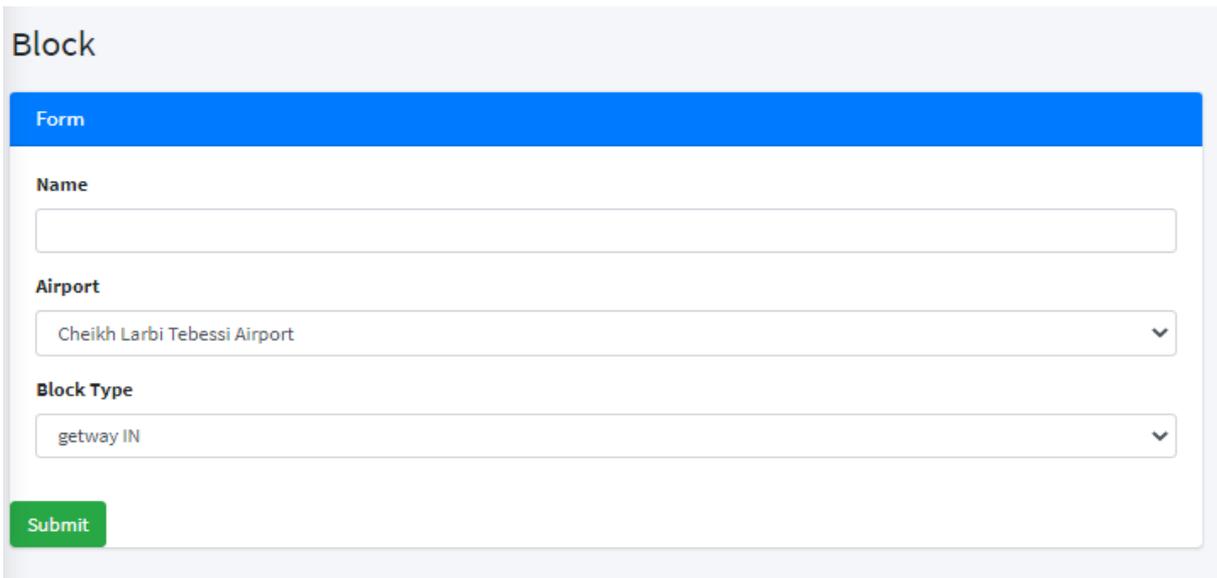
**Figure 4.16** : affichage liste les aéroports

Use case 1.5 : création d'un bloc de l'aéroport

Un bloc dans aéroport c'est endroit ou le passager peut être présent pendant son cycle de voyage par exemple la salle d'attente ou bien les poste police ....

Dans l'use case suivant nous allons monter comment nous pouvons créer un block dans un aéroport existante dans notre system

Use case 1.6 : Création un nouveau bloc à un aéroport

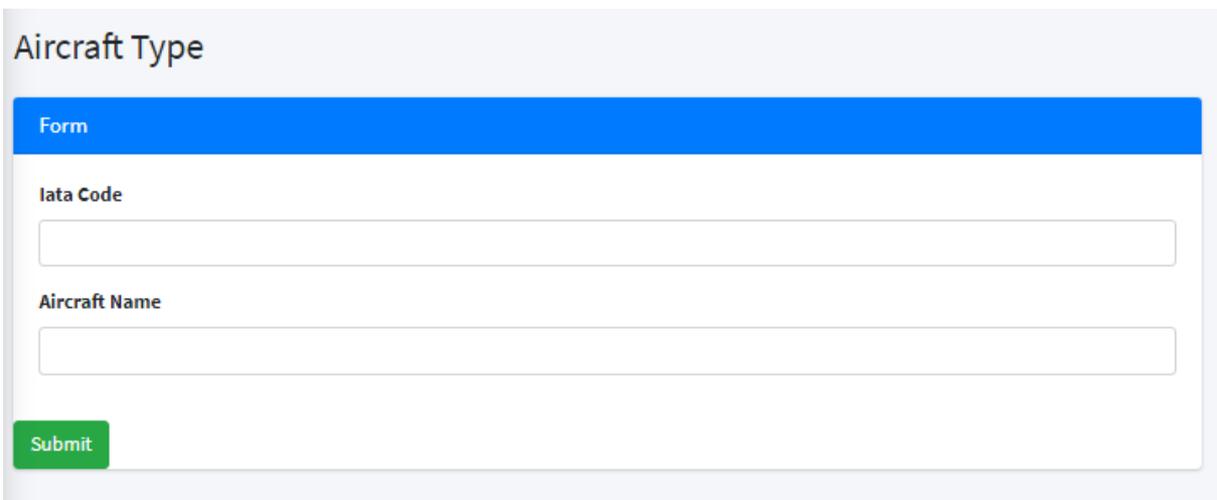


The screenshot shows a web form titled "Block". It has a blue header bar with the word "Form" in white. Below the header, there are three input fields: a text field for "Name", a dropdown menu for "Airport" with "Cheikh Larbi Tebessi Airport" selected, and another dropdown menu for "Block Type" with "getway IN" selected. At the bottom left of the form is a green "Submit" button.

**Figure 4.17** : les informations de l'ajouter bloc de l'aéroport

Use case 1.6 : Création d'un nouveau modèle d'un avion.

Nous avons ajouté un grand nombre de modèles d'avions (150 modèles) mais dans le cas où le modèle d'avion n'existe pas nous avons donné la possibilité à l'informaticien de l'ajouter.



The screenshot shows a web form titled "Aircraft Type". It has a blue header bar with the word "Form" in white. Below the header, there are two text input fields: one for "Iata Code" and one for "Aircraft Name". At the bottom left of the form is a green "Submit" button.

**Figure 4.18** : les informations de l'ajoute les avions

Pour affichage :

id	iata_code	aircraft_name	created
1	100	Fokker 100	  
2	141	British Aerospace BAe 146-100	  
3	142	British Aerospace BAe 146-200	  
4	143	British Aerospace BAe 146-300	  
5	146	British Aerospace BAe 146	  
6	14F	British Aerospace BAe 146 Freighter	  
7	14X	British Aerospace BAe 146-100QT/QC	  
8	14Y	British Aerospace BAe 146-200QT/QC	  
9	14Z	British Aerospace BAe 146-300QT/QC	  
10	310	Airbus Industrie A310	  
11	312	Airbus Industrie A310-200	  
12	313	Airbus Industrie A310-300	  
13	318	Airbus Industrie A318	  
14	319	Airbus Industrie A319	  
15	31F	Airbus Industrie A310 Freighter	  
16	31X	Airbus Industrie A310-200 Freighter	  
17	31Y	Airbus Industrie A310-300 Freighter	  
18	320	Airbus Industrie A320	  
19	321	Airbus Industrie A321	  

Figure 4.19: affichage liste les avions

## 2.2) Le rôle Contrôleur

Comme nous l'avons annoncé précédemment, cette application fournissait un type de rôle différent. Le rôle d'un contrôleur est le rôle d'un contrôleur aérien, celui qui a un contact direct avec le pilote d'un avion, donc le contrôleur est chargé de permettre à l'avion d'entrer dans le circuit d'attente, et déclarer l'état de l'avion après l'atterrissage.

Par exemple un avion qui demande l'accord pour l'atterrissage donc il sera contacté par le contrôleur, et après avoir donné l'accord, le contrôleur doit changer le statut de l'avion en live ce qui veut dire que l'avion est pris en compte dans le circuit d'attente.

○ **Tableau du bord (Dashboard) du Contrôleur**

C'est un outil qui permet au contrôleur de visualiser tous les vols actifs en temps réel, c'est-à-dire que tous les avions pris en considération dans le circuit d'attente lui sont visibles, il peut donc insérer toute modification et changement sur les vols et toutes les modifications seront envoyées automatiquement au superviseur (voir paragraphe superviseur).

Controller Dashboard   Cheikh Larbi Tebessi Airport   airport code : TEE						28 May 2021				
ARRIVALS					DEPARTURES					
Number	airline	scheduled	flight icao	flight status	Actions	number	airline	scheduled	flight icao	
1487	Alitalia	26/05/2021 22:54	147	hippodrome	<a href="#">✈</a>	1235	Abelag Aviation	26/05/2021 22:56	147	<a href="#">✈</a>
9999	Aero Caribbean	26/05/2021 21:07	9999	hippodrome	<a href="#">✈</a>					

**Figure 4.20:** Dashboard du Contrôleur

Use case 1.7 : Création d'un Vols

Cette page représente des informations afin d'ajouter un nouveau vol où l'observateur (contrôleur) peut ajouter le vol et déterminer l'aéroport, le type d'aéronef et l'état du vol.

The 'Flight' form contains the following fields and options:

- Airport:** Cheikh Larbi Tebessi Airport
- Airline:** ABSA Cargo Airline
- Number:** (empty text input)
- Iata:** (empty text input)
- Icao:** (empty text input)
- Aircraft Type:** Fokker 100
- Live:**
- Flight Date:** 2021 May 28
- Flight Status:** scheduled

Figure 4.21: les informations de l'ajoute les vols

Pour affichage :

The 'Departure' form contains the following fields and options:

- Airport:** Cheikh Larbi Tebessi Airport
- Delay:** 22 56
- Scheduled:** 2021 May 26 22 56
- Estimated:** 2021 May 26 22 56

Figure 4.22 : Sélection de l'aéroport départeur

The 'Arrival' form contains the following fields and options:

- Airport:** Boufarik Airport
- Baggage:**
- Delay:** 22 56
- Scheduled:** 2021 May 26 22 56
- Estimated:** 2021 May 26 22 56

Figure 4.23: Sélection de l'aéroport arriva

Show Search:

10

entries

AIRLINE	NUMBER	IATA	ICAO	AIRCRAFT	FLIGHT DATE	FLIGHT STATUS	DEPARTURE	ARRIVAL	
ABSA Cargo Airline <a href="#">Brazil</a> <a href="#">MS</a> <a href="#">TUS</a>	M31254	M3 1254	TUS 1254	Airbus Industrie A319	01/06/2021	scheduled	+	+	  
ABSA Cargo Airline <a href="#">Brazil</a> <a href="#">MS</a> <a href="#">TUS</a>	M31235	M3 148	TUS 147	Airbus Industrie A318	26/05/2021	parked	 	 	  
Aero Caribbean <a href="#">Cuba</a> <a href="#">7L</a> <a href="#">CRN</a>	7L9999	7L 9999	CRN 9999	Airbus Industrie A318	26/05/2021	landing	+	 	  
Alitalia <a href="#">Italy</a> <a href="#">AZ</a> <a href="#">AZA</a>	AZ1487	AZ 148	AZA 147	Boeing 727-200 Advanced	26/05/2021	landing	+	 	  
ANA & JP Express <a href="#">Japan</a> <a href="#">BN</a> <a href="#">AJV</a>	9N1487	9N 152	AJV 745	British Aerospace BAe 146 Freighter	31/05/2021	parked	 	 	  
ATRAN Cargo Airlines <a href="#">Russia</a> <a href="#">Vg</a> <a href="#">VAS</a>	V8145	V8 1235	VAS 745	British Aerospace BAe 146 Freighter	29/05/2021	scheduled	 	 	  

Figure 4.24: affichage liste les vols

### 2.3) Le rôle Superviseur

Le superviseur est le directeur général de tout l'aéroport. C'est-à-dire que l'employé qui exerce cette fonction est en mesure d'accepter ou de refuser l'atterrissage d'un avion alors l'outil lui donne une vue générale de tout ce qui se passe à l'aéroport, comme l'avion en attente dans le circuit et aussi l'état de chaque piste :

Par exemple si la piste est occupée ou qu'elle est en état d'accepter un atterrissage, et plus important elle a une vue générale sur le temps d'attente de chaque avion. Notre outil aide le superviseur à voir l'ordre des avions en attente circuit, il est capable de donner l'accord d'atterrissage, et de choisir la voie qu'est dans le meilleur état pour accepter un atterrissage en temps réel.

#### ○ *Les Pistes*

Cette page représente le cas de chaque piste à l'intérieur de l'aéroport, par laquelle le superviseur peut connaître l'état de chaque piste si elle est fermée ou dans un état d'attente ou occupé.

Pistes		Planes
Name	status	
Piste1		
Piste2		
Piste3		
Piste3		

**Figure4.25** : représente l'état de chaque piste

- *Prédéfinir et sélectionner les modes de traitement les demandes d'atterrissage*

Pour que nous puissions gérer un aéroport avec un traitement professionnel. Nous avons créé deux types de traitement des données :

Reception Mode			
Name	type	active	
Nomal mode	manu	<span style="background-color: green; color: white; padding: 2px;">active</span>	
urgent	manu	<span style="background-color: red; color: white; padding: 2px;">Non</span>	
auto Principal	auto	<span style="background-color: red; color: white; padding: 2px;">Non</span>	

**Figure 4.26:** Préparé et sélection du mode

- *Sélection du mode automatique*

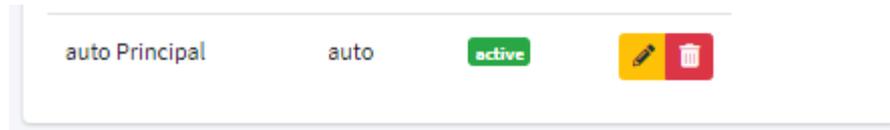
Un type automatique où l'importance des états des avions est négligée, ce qui signifie que tous les avions dans le circuit d'attente nommé aussi "hippodrome" ou "stack" seront traités avec la même manipulation, donc le premier arrivé sera le premier servi.

$$P = (TRatt / TSmax) + (VP+0.25).$$

**P** : le poids du vol (c'est variable que définit l'importance d'avion ou bien sont ordre d'atterrissage)

**RTatt** : le temps d'attente dans le circuit d'attente

**RTmax** : Le temps d'attente maximum autorisé par l'aéroport, qui est configurable dans les interfaces d'administration, est ce qui détermine le temps d'attente maximum dans le circuit.



**Figure 4.27** : Sélection du mode automatique

- *Sélection du mode manuel*

Le deuxième type est un type manuel où le superviseur est capable de donner de l'importance aux vols avec une difficulté spécifique. Pour notre étude, nous avons traité des problèmes les plus connus du transport aérien. Et à l'aide des fonctions précédentes, nous avons mis le mode manuel à la disposition du superviseur afin qu'il puisse définir l'importance des avions (VP) en fonction du résultat, avec cette manipulation, nous avons pensé à tous les scénarios qui peuvent se produire, par exemple en cas de une attaque terroriste, les avions avec problème dans le moteur peuvent être mis en premier lieu, ou en cas de désastre naturel les avions avec les sorties médicales il sera mis en premier lieu, pour les infos le contrôleur qui définit le problème de tout dans l'outil après avoir contacté le pilote de l'avion.

### Mode Config

Mode Configuration

Wait Time

Max Wait Time

out of control

Engine failure

medical emergency

Loss of hydraulic systems

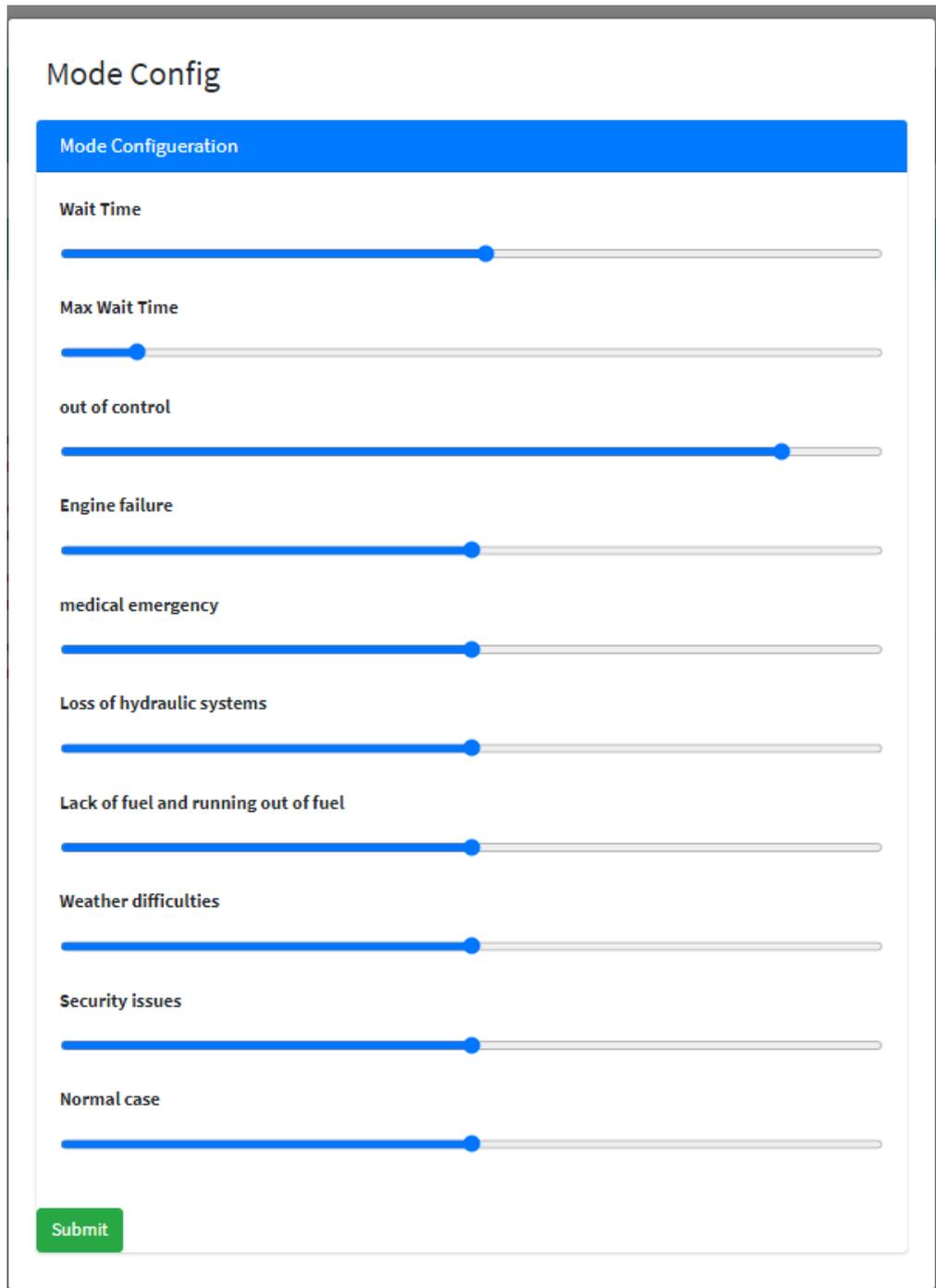
Lack of fuel and running out of fuel

Weather difficulties

Security issues

Normal case

Submit



**Figure 4.28:** Sélection du mode manuel

○ **Alertes de module :**

C'est un module à la disposition du superviseur, qui lui donne des alertes en temps réel de tous les avions dans le circuit d'attente, sous l'ordre des masses d'atterrissage, Nous avons choisi trois couleurs différentes pour nous permettre de mieux voir, Si le temps d'attente et le rapport de poids de l'avion est inférieur au temps d'attente maximum, il sera affiché en vert.

Si le rapport temps d'attente et poids des avions et entre les temps d'attente maximum et le double du temps d'attente maximum il sera affiché en orange.

Si le rapport du temps d'attente et le poids de l'aéronef dépassent le double du temps d'attente maximum, il sera affiché en rouge. Voir la figure suivante :

flight Number	Scheduled	T waiting on Stack	status	
145	2021-06-05T18:00:00+01:00	3166 : Secondes	3166Warning state	Accept
1254	2021-06-05T16:43:00+01:00	2734 : Secondes	2734Warning state	Accept
1487	2021-05-31T14:34:00+01:00	584 : Secondes	Normal state	Accept

**Figure 4.29:** affichage Alertes de module

### 3) Expérimentations et résultats

Afin d'évaluer les algorithmes proposés et valider les résultats obtenus, nous avons effectué une série d'expérimentations.

Le Tableau 4.30 présente nos résultats de calcul pour l'algorithme proposé FCFS avancé et ses variantes améliorées par rapport l'algorithme classique FCFS. La première colonne précise une fenêtre de temps de 1 heure. La colonne 2, 3 et 4 représente le nombre de vols (total, départs et arrivées respectivement) dans une fenêtre de temps. Le temps de retard aussi est indiqué dans le tableau pour l'algorithme FCFS traditionnel et pour l'algorithme proposé. Les deux dernières colonnes indiquent la longueur de la file d'attente de départ pour les deux algorithmes FCFS avancé et FCFS traditionnel.

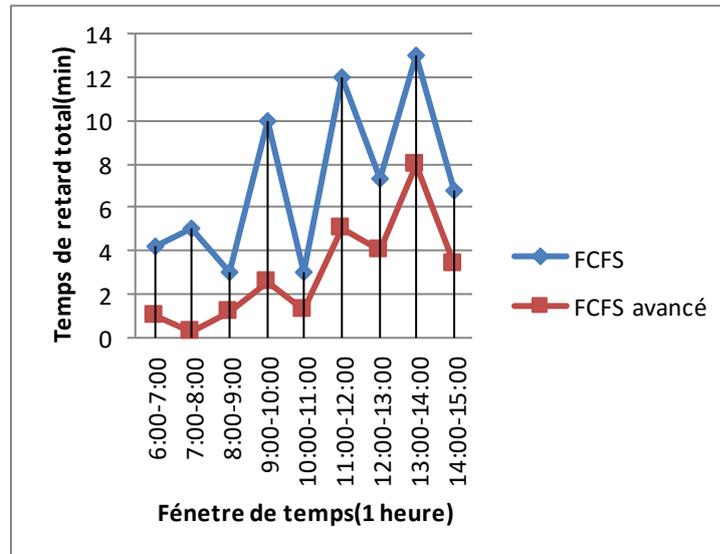
Temps	nombre de vols			Temps de retard		longueur de file d'attente de départ	
	Total	départs	arrivées	FCFS	FCFS avancé	FCFS	FCFS avancé
6:00-7:00	04 vols	02 vols	02 vols	04.23min	1.02min	03 avions	02 avions
7:00-8:00	06 vols	04 vols	02 vols	5min	0.25min	05 avions	05 avions
8:00-9:00	02 vols	01 vols	01 vols	3.04 min	1.22min	04 avions	02 avions
9:00-10:00	07 vols	05 vols	02 vols	10min	2.54min	05 avions	04 avions
10:00-11:00	03 vols	01 vols	02 vols	3min	1.25min	02 avions	01 avion
11:00-12:00	10 vols	06 vols	04 vols	12min	05min	07 avions	05 avions
12:00-13:00	05 vols	02 vols	03 vols	7.33min	04min	03 avions	02 avions
13:00-14:00	08 vols	04 vols	04 vols	13min	08 min	06 avions	04 avions
14:00-15:00	04 vols	03 vols	01 vols	6.78 min	3.4 min	03 avions	02 avions

Tableau 4.1: Résultats de calcul

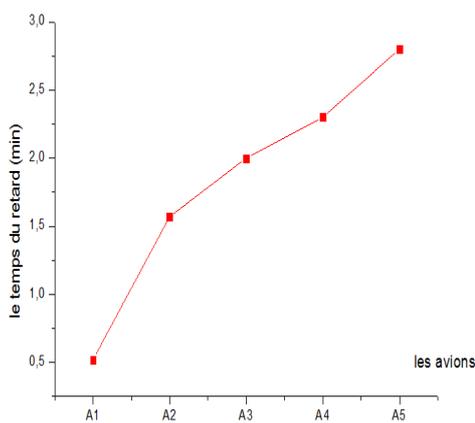
### 3.1. Expérimentation 1 : minimiser le temps de retard

Nous comptons ici la minimisation du retard total (vu comme un indicateur de performance de l'aéroport). Le temps de retard total  $T_{\text{retard}}$  est la somme des retards :

$$T_{\text{retard}} = \sum_{i=1}^n T_i \quad \text{ou } T_i \text{ est le retard de l'aéronef } i \text{ et } n \text{ est le nombre d'aéronefs}$$

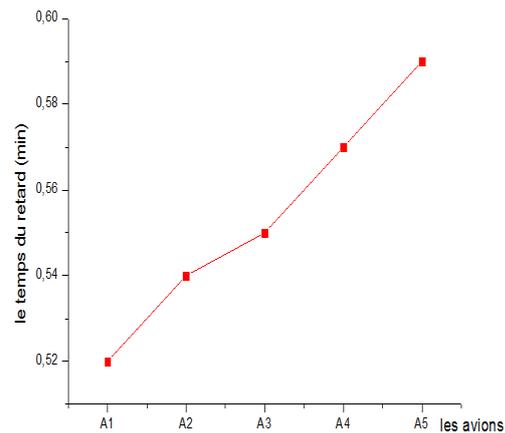


**Figure 4.30:** Comparaison du temps de retard total (en seconde) entre le FCFS, et FCFS avancé



**Figure 4.31:** les retards d'avions

en utilisant FCFS traditionnel



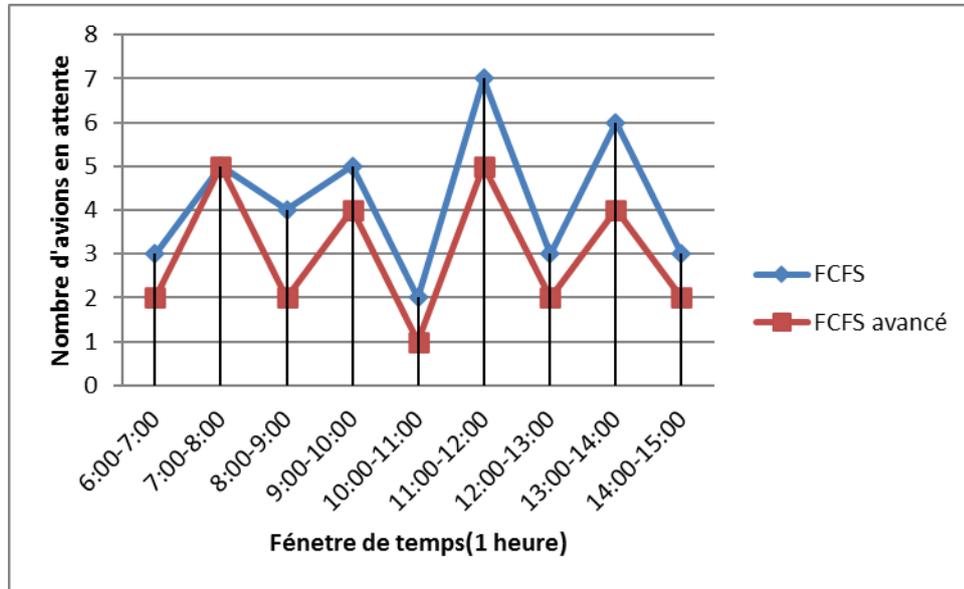
**Figure 4.32:** les retards d'avions

en utilisant FCFS avancé

Dans la figure 4.31, il y a une forte augmentation des retards Total (13 min) dans la fenêtre de temps (13h-14h) pour l'algorithme FCFS traditionnel car dans l'algorithme FCFS, si le premier avion de la file d'attente en panne, les avions restantes ne peuvent pas être planifiées même si les pistes demandées sont disponibles. Dans l'algorithme proposé FCFS avancé, on remarque qu'il y a une minimisation du temps de retard total dans la fenêtre de temps (13h-14h) du 13 min à 8 min, la cause de minimisation parce que l'algorithme proposé a possibilité de changer les priorités des avions en temps réel, afin que les aéroports puissent gérer toutes les demandes d'atterrissage pendant la période de risque et de catastrophe.

### 3.2) Expérimentation 2 : réduire la longueur de file d'attente

Nous avons concentré sur la longueur de la file d'attente. On fournit des estimations du nombre d'avions attendant dans des files d'attente de piste dans une fenêtre de temps. Ceci permet donc de déterminer indirectement la capacité du système.



**Figure 4.33:** comparaison de la longueur de file d'attente entre FCFS et FCFS avancé dans une fenêtre de temps

Dans la figure 4.34, Nous avons comparé le nombre d'avions atteignant la file d'attente de piste pendant une fenêtre de temps en utilisant l'algorithme FCFS traditionnel et l'algorithme proposé. Nous avons remarqué qu'une taille excessive d'une file d'attente peut engendrer un retard excessif pour un avion au départ.

### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons expliqué tous les outils utilisés dans la programmation et la préparation de notre application et présenté tous les scénarios possibles au sein de notre application avec explication et clarification à travers les interfaces de notre application, en fin de compte, nous avons fourni une comparaison entre l'algorithme FCFS traditionnel et l'algorithme FCFS avancé à travers le temps de retard de l'avion, et le résultat s'est avéré efficient l'algorithme FCFS avancé.

# Conclusion générale

La croissance continue de la demande de transport aérien dépasse la capacité de l'infrastructure de l'aéroport et conduit généralement à la gravité des vols peu fiables ou retardés, et peut parfois être la cause de catastrophes.

Dans notre travail, nous avons introduit le concept de priorité la planification comme moyen de prendre en considération préférences d'arrivée des compagnies aériennes dans la séquence et algorithmes de planification pour l'automatisation du contrôle de la circulation aérienne.

L'ordonnancement prioritaire est défini comme une méthode de planification d'un banc d'aéronefs à l'arrivée selon un ordre d'arrivée préféré au lieu de selon un ordre FCFS basé sur heure d'arrivée à la piste.

Étant donné que l'algorithme est basé principalement sur les principes de FCFS (first come first serve), mais nous avons développé à partir de là où nous sommes devenus un algorithme qui permet à la direction de l'aéroport de contrôler en permanence et avec précision tous les vols, où la priorité et l'importance des vols qui font face à des difficultés spécifiques peuvent être données selon notre étude où nous avons traité les problèmes du transport aérien le plus célèbre, où nous avons mis le mode manuel à la disposition du superviseur afin qu'il puisse définir l'importance des avions (VP) en fonction du résultat, avec cette manipulation, nous avons pensé à tous les scénarios qui peuvent se produire, par exemple en cas de une attaque terroriste, les avions avec problème dans le moteur peuvent être mis en premier lieu, ou en cas de désastre naturel les avions avec les sorties médicales il sera mis en premier lieu, pour les infos le contrôleur qui définit le problème de tout dans l'outil après avoir contacté le pilote de l'avion.

Notre approche a obtenu une meilleure solution par rapport à la méthode FCFS traditionnel, surtout lorsque nous planifions l'atterrissage d'une séquence d'aéronefs avec un nombre élevé d'aéronefs ou un écart-type élevé des vitesses des aéronefs

À la suite de notre étude, nous pouvons dire que l'algorithme sur lequel nous avons travaillé à l'avenir peut être utilisé dans le contexte du développement du système d'horaire de vol, qui contribue à améliorer la productivité de l'aéroport et la qualité du service en termes de réception des vols.



# Bibliographie

- [1] R. Andriatsarafara Michaël. Aménagement de l'aérodrome militaire d'andrakaka en aérodrome international ,2011.
  
- [2] D. Stoica. Analyse, Thèse de représentation et optimisation de la circulation des avions sur une plate-forme aéroportuaire, 2005.
  
- [3] [www.aeroport-d-alger-houari-boumediene.com](http://www.aeroport-d-alger-houari-boumediene.com)
  
- [4] [fr.wikipedia.org](http://fr.wikipedia.org)
  
- [5] [www.egsa-constantine.dz](http://www.egsa-constantine.dz)
  
- [6] J. ATKIN, These, University of Nottingham, On-line decision support for take-off runway scheduling at (London) 2008.
  
- [7] S. Rathinam, J. Montoya, Y. andJung. An Optimization Model for Reducing Aircraft Taxi Times at the Dallas Fort Worth International Airport. 26th International Congress of the Aeronautical Sciences, Anchorage, AK, Sep,2008.
  
- [8] H. Balakrishnan, and Chandran, B. Scheduling Aircraft Landings under Constrained Position Shifting. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, Key-stone, CO, Aug, 2006.
  
- [9] H. Balakrishnan, B. Chandran. Scheduling aircraft landings under constrained position shifting. Operations Research 58, 2010.

- [10] A. D'Ariano, M. Pistelli, D. Pacciarelli. Aircraft retiming and rerouting in vicinity of airports. IET Intelligent Transport Systems 433–443, 2012.
- [11] M. Samà, A. D'Ariano, D. Pacciarelli. Rolling horizon approach for aircraft scheduling in the terminal control area of busy airports, Transportation Research Part E 60 140–155 ,2013.
- [12] [www.lemagit.fr](http://www.lemagit.fr)
- [4] [fr.wikipedia.org](http://fr.wikipedia.org)
- [13] [jquery.com](http://jquery.com)
- [14] [book.cakephp.org](http://book.cakephp.org)
- [15] [www.journaldunet.com](http://www.journaldunet.com)
- [16] <https://fr.wikipedia.org/wiki/MySQL>
- [17] [www.wampserver.com](http://www.wampserver.com)