



Optimisation du flux des passagers aéroportuaires : Opportunités d'une étude générique sur les aéroports du Maroc

Zineb EDRISSI

Etudiant en doctorat, Ecole Nationale Supérieure de
l'Electricité et de Mécanique (ENSEM),
Université Hassan II de Casablanca, BP 8118, Oasis,
Casablanca, Maroc
z.edrissi@gmail.com

Otmane BOUKSOUR b, Zitouni BEIDOURI

Laboratoire de Génie Mécanique Productique et Génie
Industriel(LMPGI), Ecole Supérieure de Technologie (EST),
BP 8012, Oasis.
Casablanca, Maroc
Bouksour2@gmail.com; zbeidouri@gmail.com

Abstract: Les aéroports sont essentiels pour le commerce intercontinental et la clé du succès de l'industrie aéronautique mondiale. L'objectif commun de toutes les parties prenantes de la chaîne aéroportuaire est de satisfaire le passager tout en faisant face à un nombre important de défis, de contraintes, d'enjeux notamment la croissance continue du trafic aérien et son influence sur la capacité aéroportuaire, le problème de la congestion aux heures de pointe et tout ce qui résulte des files d'attente et des retards à l'embarquement. Cette situation oblige les gestionnaires de l'aéroport à mettre en place un meilleur circuit de passagers, tant au départ qu'à l'arrivée. En fait, pour obtenir un meilleur flux de passagers à l'intérieur de l'aérogare, la modélisation est la première étape vers le développement et la résolution des problèmes. Le présent travail vise à présenter les différents modèles d'optimisation appliqués au traitement des flux de passagers et à mettre en évidence leurs contributions à la bonne gestion et au bon fonctionnement dans un domaine aussi complexe que celui de l'exploitation des aéroports.

Keywords— Flux de passagers, modélisation, optimisation, simulation.

I. INTRODUCTION

Grace à la mondialisation, plusieurs domaines ont été développés pour répondre au besoin de la forte demande des connections mondiales. Notamment, l'industrie aéronautique, une industrie en pleine expansion, elle a transporté 2,4 milliards de passagers et a expédié 40 millions de tonnes de marchandises en 2010 et estime transporter, en 2050, 16 milliards de passagers et expédier 400 millions de tonnes de marchandises, une augmentation presque deux fois plus rapide que le PIB [1]. Une telle croissance engendre des enjeux multiples que le gestionnaire et le propriétaire de l'aéroport doivent relever à savoir : la qualité de service, la sécurité et la sûreté des passagers, le niveau de congestion surtout durant les horaires à fort trafic, l'importance des coûts d'investissement ... En contrepartie, vu le développement technologique dans un monde qui va de plus en plus vite, le confort, la rapidité et la fluidité de traitement avec une meilleure qualité de service constituent des demandes fortes de la part des passagers. Les

acteurs aéroportuaires cherchent à renforcer leur identité et celle de leur pays à travers leurs aéroports. Etant indéniablement la première porte d'entrée vers une région ou un pays et le premier point de contact en y arrivant, par conséquent, les aéroports jouent un rôle essentiel dans la création de la première impression sur un pays. En effet, une image impressionnante de l'aéroport contribuera à créer une expérience agréable [2] [3].

De ce fait, devant cette croissance du trafic aérien, les aéroports doivent améliorer le flux de leur passagers en proposant un circuit meilleur et ce, en suivant une politique répondant à tous les enjeux sans que cela n'ait un impact financier important (projets d'investissement de construction de terminaux,...). D'où l'opportunité d'étudier, d'analyser et de modéliser le circuit des passagers et de proposer un modèle optimisé approprié pour les aéroports. Dans ce sens, l'aéroport international Mohammed V de Casablanca qui constitue la plus grande porte du Maroc fera l'objet d'étude de cas de notre projet de recherche.

Dans le présent travail, nous allons présenter les différents facteurs de croissance du trafic aérien et les différents enjeux qui préoccupent les gestionnaires des aéroports ; ensuite, nous allons présenter une revue de littérature sur les travaux d'optimisation des flux des passagers réalisés sur plusieurs aéroports internationaux, et finalement, nous allons présenter l'opportunité de réaliser une telle étude sur les aéroports du Maroc, un pays en plein développement et accueillant un nombre important de passagers qui ne cesse d'augmenter.

II. EVOLUTION DU TRAFIC AERIEN : FACTEURS DE CROISSANCE ET ENJEUX

A. Les facteurs de la croissance du trafic aérien

Le trafic aérien a subi une croissance importante. Les projections pour 2036 indiquent que le nombre de passagers aériens va presque doubler, atteignant 7,8 milliards de passagers [4], cette croissance est due à plusieurs facteurs successifs notamment :



- La mondialisation qui a pu mettre son empreinte sur le transport aérien. Grâce à elle, les gens ont subi un modèle de société de consommation illustrée par la propension à se déplacer pour étudier [5], pour voyager, 15 % pour faire des affaires, 51 % pour des découvrir l'autre bout du monde [5] [6];
- La libéralisation : les prix des vols ont connu une diminution, et en conséquence, le nombre de passagers a augmenté et, grâce à libéralisation de l'espace aérien, les lignes intérieures qui étaient exploitées exclusivement par des compagnies nationales sont actuellement ouvertes aux autres compagnies et, aujourd'hui, toute compagnie a le droit de desservir librement la ou les destinations de son choix.
- Les progrès technologiques sont aussi très importants dans le secteur de l'aviation [7]. En 1938, la liaison entre Marseille et Hong Kong se faisait en 7 jours et 18 escales [8]. Aujourd'hui, cette semaine de voyage peut être réalisée, en une seule traite et en seulement 12 heures de voyage. Aujourd'hui, les moteurs plus puissants ont pu raccourcir les distances. Aussi, la construction d'avions de plus en plus gros a permis d'accueillir plus de personnes et de réduire les coûts en termes de consommation d'énergie. Le tout en étant plus sûr puisque d'après [7] « le taux d'accident fatal par million de décollages est passé de 40 en 1955 à 0,7 en 2010 ».
- *Le facteur sociologique* : l'évolution des modes de vie inhérents aux caractéristiques socioprofessionnelles des ménages a poussé aussi leur volonté à voyager plus. les formules de voyages organisés se multiplient donnant un choix énorme à toutes les catégories d'âges et de genres qui ont tendance à se déplacer, à voyager et à découvrir les autres nations.

B. Enjeux de la croissance du trafic aérien

Au niveau international, les aéroports les plus importants chiffrent un trafic passager annuel moyen de près de 80 millions de passagers [9]. De ce fait, la gestion des flux de voyageurs est devenue un enjeu majeur à la fois pour la maîtrise opérationnelle et pour la sécurité.

L'aéroport est une plateforme de grande taille qui met en jeu plusieurs parties prenantes, qui gère plusieurs flux, qui sert des millions de passagers de plusieurs et différentes cultures. Une telle structure confronte absolument des contraintes et des enjeux majeurs et mineurs importants à savoir:

- La qualité de service qui a une influence directe sur l'intention comportementale du passager. [10] [11].
- La sécurité et la sûreté : depuis les attentats du 11 septembre 2001, l'augmentation des mesures de sécurité précédant l'embarquement a constitué une grande contrainte que le gestionnaire d'un aéroport doit prendre en considération lors de la planification des vols et lors de la gestion des différents flux aéroportuaires, principalement celui des passagers.

- La capacité aéroportuaire qui présente une contrainte pour déterminer le trafic que peut drainer l'infrastructure disponible ainsi que la date prévisible alertant de la saturation, compte tenu de l'évolution prévue du trafic et prévoir où et quand il faut réaménager l'infrastructure et réaliser une extension ou construire un nouveau bâtiment.
- Le coût financier et principalement le coût des investissements pour aménager, construire ou élargir la capacité d'accueil des passagers, pour s'approvisionner des équipements de sûreté et de sécurité et de les moderniser incessamment ; et finalement, offrir à ses passagers tous les moyens de confort et de facilitation garantissant leur satisfaction.
- L'infrastructure aéroportuaire : les installations mises en place doivent se moderniser et devenir évolutives, extensibles et flexibles pour s'adapter aux évolutions rapides du trafic et répondre à la demande des différents usagers de ce secteur.

Il y a eu récemment un intérêt croissant pour les études de recherches scientifiques et économiques sur le transport aérien, sur ses plusieurs contraintes et difficultés à savoir : la congestion et la capacité des aérogares [12] [13] [14], sur l'expérience des passagers, leur satisfaction et la qualité des services aéroportuaires [15] [16] [17] sur les opérations aéroportuaires [18, 19, 20, 21] et sur le traitement des bagages et de files d'attente [22, 23, 24].

III. OPTIMISATION DES FLUX DES PASSAGERS AÉROPORTUAIRES : ETAT DE L'ART

A. Les approches de modélisation des flux passagers

Wu & Mengersen [19] a identifié 4 scénarios opérationnelles majeurs au niveau de l'aéroport : la planification de la capacité, la planification opérationnelle, la planification de la sécurité et la performance des aéroports et a montré comment la prise en considération de ses 4 scénarios peut être d'une aide inestimable pour les décideurs opérateurs d'exploitation aéroportuaire [19]. Les modèles appliqués peuvent capturer les différents éléments du système à savoir le côté piste et le côté ville [25], peuvent suivre plusieurs approches analytiques, holistiques ou bien hybride et nécessitent différents niveau de détail (macroscopique, microscopique et mésoscopique) , différentes caractéristiques : déterministe ou stochastique probabiliste et statistique [19] [25] et aussi capturer les différents métriques de performance notamment le temps de service, le délai d'attente, la capacité, le débit des passagers [26] [25] [19].

En général, pour toute chaîne logistique, Dietrich [27] précise la présence de deux modèles les plus développés et utilisés. Il s'agit des modèles descriptifs et des modèles prescriptifs. Les modèles de type prescriptif sont utilisés pour la prise de décision (investissement, extension d'un aéroport, problèmes de dimensionnement,..) [28]. Citons ainsi le modèle de [29] qui ont développé un modèle théorique , de prise de décision,



qui capture les perceptions des voyageurs concernant les technologies des aéroports à travers des tests examinant la relation entre les différents types de technologies aéroportuaires et la confiance, le plaisir, et la satisfaction des passagers. Tandis que les modèles descriptifs permettent d'évaluer les conséquences, en termes de performance, des décisions prises sur la base des modèles prescriptifs. Ils se structurent en deux classes : l'approche analytique Versus l'approche de simulation.

Les différentes techniques utilisées diffèrent principalement selon quelques dimensions. On peut avoir trois approches de modélisation : analytiques, de simulation et hybrides [26] :

- Les modèles analytiques : On peut trouver des modèles déterministes ou non déterministes, en fonction de la mesure dans laquelle on souhaite rendre compte de l'incertitude ; stochastiques, appelé aussi probabilistes ou bien statistiques qui traitent la dimension de l'incertitude [25] [19]; statiques ou dynamiques dans le temps; discrets et/ou continus . Ainsi, quand il s'agit de modèles analytiques très complexes, on utilise de nombreuses sous-catégories de modèles supplémentaires. [30] [31].
- Les modèles de simulation sont populaire en raison de la visualisation de chaque système et de ses interactions, ils sont utilisé généralement dans la planification et dans la conception. La section suivante les développera davantage.
- Les modèles hybrides : sont des méthodes utilisées à plusieurs reprises [26], à l'exemple de [32] qui a fusionné les systèmes complexes de réseaux bayésiens complexes avec la théorie stochastique de la file d'attente avec la distribution de poisson, et aussi, [33] qui a employé un modèle de simulation et l'algorithme génétique d'optimisation pour étudier et analyser les procédures de départ et a découvert à travers la simulation que, lorsque la demande augmente, les comptoirs communs d'enregistrement sont une belle option pour optimiser les coûts de service au passager et le coût d'attente des passagers.

Aussi, une autre classification des approches, développées par les chercheurs dans le domaine aéroportuaire, et qui prend en considération les différents niveaux de détail du modèle:

- Microscopique : cette approche capture un niveau de détail très approfondie [26]
- Macroscopique : cette approche capture un niveau de détail formel [34]

- Mésoscopique : il s'agit d'un niveau de détail moyen, entre le microscopique et le macroscopique, il est peu utilisé par les modélisateurs.

Le Tableau 1 donne des exemples d'application de ces modèles dans le domaine de gestion de flux des passagers.

	Microscopique	Mésoscopique	Macroscopique
Modèle analytique	Modèle analytique d'une activité Exemple: Analyse stochastique de la performance des taxis dans un aéroport [35]	Modèle analytique d'un processus Exemple: Analyse de la file d'attente dans le processus de l'enregistrement [36] [37]	Modèle analytique global Exemple: Un modèle holistique des opérations aéroportuaires [38]
Modèle de simulation	Modèle de simulation d'une activité Exemple: La modélisation et la simulation du traitement de bagage dans un large aéroport [39]	Modèle de simulation d'un processus Exemples : - Modélisation par simulation du système de traitement de bagage [40] [26] - Modélisation par simulation du processus d'embarquement [41]	Modèle de simulation global Exemples: Simulation des flux passagers de l'aéroport (enregistrement et contrôle de sécurité) [42] [43] - Le management des opérations aéroportuaires en utilisant la simulation [44]
Modèle hybride	Modèle hybride d'une activité : Exemple : modélisation et optimisation par programmation linéaire et la simulation d'enregistrement [45]	Modèle hybride du processus Exemple : un modèle hybride du circuit départ [33]	Modèle hybride global Exemple : Un modèle basé sur la mixité des réseaux bayésiens et de la file d'attente : Etude de cas des opérations de tout le circuit arrivée [32]

TABLEAU 1: LES APPROCHES DE MODÉLISATIONS

B. L'optimisation logistique : Généralités et applications

L'optimisation des processus a pour but d'améliorer les modes de fonctionnement des entreprises et organisations. Dans le domaine de la logistique, en général nous cherchons toujours à maximiser les bénéfices, les résultats, ... et à minimiser les pénalités dues aux retards [46], les temps d'arrêt, les temps d'attente et l'ensemble des opérations sans valeur ajoutée. Ces objectifs à atteindre s'inscrivent dans le cadre des problèmes d'optimisation qui sont soit d'ordre stratégique (investir ou ne pas investir, sous-traiter ou ne pas sous-traiter [47]...) et aussi, d'ordre opérationnel (l'affectation des ressources humaines et matérielles, le problème de livraison, de stockage..) [48]. Il existe plusieurs méthodes d'optimisation non mathématiques, d'amélioration des processus, à savoir : le Lean Management, le Six Sigma, la gestion de la qualité totale (TQM), la réingénierie des processus, le Kaizen. Les autres méthodes de type mathématique, utilisent un ensemble de techniques permettant de mathématiser le problème et de



trouver les variables qui rendent optimales une fonction de réponse appelée aussi fonction objective [48]. Cette fonction comporte des paramètres et est généralement soumise à des contraintes.

Plusieurs travaux de recherches scientifiques ont adopté l'optimisation dans leurs projets, dans le domaine de transport, et de la logistique en général [49] [48] [46] [50] [51], dans le domaine de l'aviation civile [52] [53] [54] et aussi, particulièrement, dans la gestion du flux des passagers et des opérations aéroportuaires [55] [56] [57] [58] [59].

Au niveau du traitement des passagers aéroportuaires, il existe deux circuits importants : le circuit départ qui commence depuis l'accès à l'aérogare jusqu'à l'embarquement et le circuit arrivée qui commence depuis le débarquement de l'avion jusqu'à la sortie de l'aérogare. Entre ces deux circuits, le circuit départ a attiré toujours l'attention des chercheurs par sa complexité, par son importance, nécessitant plus de temps et aussi par sa composition de multiples installations et sous-processus liant plusieurs parties prenantes (la compagnie aérienne, le handler, l'opérateur aéroportuaire, la douane, la police,...) [60]. Un examen de la littérature a permis de survoler un ensemble de travaux sur des problèmes d'optimisation de ce circuit et ce à travers des méthodes purement mathématiques analytiques et d'autres à travers la simulation ainsi que des méthodes hybrides.

C. Optimisation mathématique

Les travaux d'optimisation mathématique effectués suivent un modèle analytique, se basant sur la programmation linéaire, comme le cas de [61] qui a travaillé sur le problème de traitement des bagages par le logiciel CPLEX, ou [55] qui a trouvé les meilleurs paramètres d'optimisation du problème de l'enregistrement à travers une fonction objective de minimisation du coût total de l'enregistrement (coût de l'ouverture d'un comptoir d'enregistrement et coût de la file d'attente) en exécutant ce modèle sur le logiciel FICO XPress Optimisation Suite 7 ; tandis que [62] a réalisé un modèle mathématique de maximisation des redevances de l'aéroport. Aussi, [45] a optimisé le nombre de comptoirs alloués pour l'enregistrement et les ressources nécessaires grâce à deux approches : déterministe (la programmation linéaire en entier) et stochastique (simulation des scénarios pour étudier le processus d'attente).

D. Optimisation par simulation

Hormis l'optimisation se basant sur des méthodes purement mathématiques et algorithmiques citées précédemment, il existe des démarches d'optimisation à travers la simulation des modèles, cela a été utilisé par plusieurs chercheurs et sociétés fournisseurs de logiciel de simulation notamment (ANYLOGIC, ARENA, FLEXSIM, ARIS...). En effet, on trouve [41] [43] et les autres travaux précités qui ont utilisé la simulation comme moyen de base pour l'optimisation des processus traités. Le principe de cette méthode est de réaliser un modèle du processus étudié, le simuler numériquement à travers un simulateur, le valider, et puis décider de quelques

scénarios d'optimisation et identifier, à travers la simulation, le scénario le plus optimal.

La revue de littérature est riche sur cette méthode, le tableau n°2 résume quelques résultats de recherche appliquée sur plusieurs études de cas internationaux, avec une panoplie de modèles de simulation et d'optimisation ou bien hybride.

TABLEAU 2: ETAT DE L'ART SUR LES TRAVAUX DE MODELISATION, SIMULATION ET OPTIMISATION DES FLUX PASSAGERS- APPLICATIONS AUX

Sous processus	Auteur	Simulation	Optimisation	Apport/ Objectifs de l'étude
Enregistrement	[45]	Approche stochastique par simulation Langage : C sharp	Approche déterministe : la programmation linéaire en entier. Langage: GAMS	Aéroport international de Kuwait : Optimiser le nombre de comptoirs alloués pour l'enregistrement et les ressources nécessaires et simuler des scénarios optimaux pour étudier le processus d'attente
	[63]	-	Algorithme génétique	Simuler le nombre de comptoir d'enregistrement qui est en fonction du temps, période de la journée, jour de la semaine, la destination). Ces facteurs influencent le nombre de ressources à allouer.
	[64]	ARENA 12.0	-	Aéroport international d'Ataturk : Analyser les politiques d'allocation de comptoirs d'enregistrement : la première politique attribue un nombre fixe de comptoirs pour une durée déterminée à chaque vol. La deuxième politique est la politique d'allocation dynamique.
	[55]	-	Le solveur FICO XPress Optimisation Suite 7.	Aéroport de Naples/Italie - la société GESAC Handling : Fournir un modèle mathématique d'optimisation des problèmes de l'enregistrement
	[65]	Un modèle conceptuel simulé sur ANYLOGIC	-	Aéroport de Lisbonne-Terminal 1 : Simuler le mouvement des passagers dans le terminal depuis son entrée jusqu'au contrôle de sécurité avec un focus sur le sous-processus de l'enregistrement. Un modèle à évènement discrets avec des caractéristiques multi agents.

AEROPORTS INTERNATIONAUX



Sous processus	Auteur	Simulation	Optimisation	Apport/ l'étude	Objectifs de
Check-in et contrôle de sécurité	[43]	Rockwell ARENA	Optquest d'ARENA	Aéroport international de Naples, Capodichino – Italie : Identifier à travers la simulation, le scénario optimal qui minimise la fonction des coûts (d'ouverture des comptoirs d'enregistrements et de contrôle de sécurité)	
Check-in et contrôle de sécurité	[57]	Simulation de la fonction objective	Le problème de minimisation des coûts : Méthode de substitution puis simulation de la fonction objective.	L'aéroport de Napoli-Capodichino Optimiser les coûts relatifs à l'enregistrement et au contrôle de sécurité à travers la méthode de substitution puis simulation de la fonction objective.	
Contrôle de sécurité	[66]	FLEXSIM	-	Aéroport de Wrocław : Etablir un modèle de simulation qui détermine le nombre minimum de postes de contrôle de sécurité à ouvrir, le temps moyen d'attente d'un passager et nombre d'heures de travail des opérateurs dans le poste de contrôle de sécurité.	
Embarquement	[41]	ARIS Architect	Optimisation par simulation	Aéroport Split, Croatie : Fournir un modèle de simulation qui a comparé les résultats de deux scénarios (1 : le processus actuel, 2 : le processus futur souhaité)	
Le flux passager dans le terminal	[67]	Modélisation : Langage de spécification et de description WITNESS-Flight Planner Manager	-	Aéroport international de Barcelone, Nouveau terminal : Développer un modèle de simulation qui capture le comportement des passagers et de leurs flux dans le terminal	
Activité discrétionnaires de l'aérogare	[68]	Modèle d'agent individuel et simulation de réseaux bayésiens	-	Aéroport international de Brisbane (Terminal de départ) : Simuler le comportement stochastique du passager, les réseaux bayésiens sont aussi utilisés dans la prise de décision afin de comprendre la dynamique des activités discrétionnaires des passagers.	
Tout le circuit départ	[33]	EXTEND V.6 PLATFORM (ImagineThat)	Par simulation des scénarios	Aéroport international de Broome : Réaliser un modèle de simulation de l'ensemble des opérations du processus départ	

IV. OPPORTUNITÉ DERRIÈRE UNE OPTIMISATION DU FLUX PASSAGER DANS LES AÉROPORTS DU MAROC

Vu l'importance du flux passager et de son traitement dans la chaîne de l'exploitation aéroportuaire, l'objectif de tous les opérateurs dans ce domaine est l'amélioration et le développement de ce traitement tout en répondant aux différents défis à lever notamment, la qualité de service, la capacité, la sécurité et la sûreté des passagers et enfin une bonne solution à tout cela dans la limite du disponible budgétaire.

Plusieurs solutions d'optimisation se présentent pour améliorer et développer le flux des passagers, à savoir, les solutions technologiques [69, 70] visant l'automatisation de certaines procédures automatisables (check-in, de traitement des bagages,...), les solutions répondant à la problématique de la congestion et visant à investir des fonds financiers importants pour construire de nouveaux terminaux ou bien de réaliser des projets d'extension des terminaux existants. De telles décisions ont mené certains gouvernements à céder leurs aéroports à la privatisation par exemple en Italie, en Australie, en Nouvelle-Zélande, au Danemark, au Mexique,... [71].

Il y a finalement une solution plus rationnelle qui est, non seulement de développer le réseau existant, mais également d'utiliser celui-ci de façon plus optimale [72] ; une solution n'investissant pas un coût financier important mais essayant, avec les ressources et l'infrastructure disponible, de donner un meilleur circuit des passagers plus fluide et minimisant les délais d'attente dans les différents points à longues files d'attente ; d'où la nécessité d'une analyse des flux des passagers. Une telle analyse peut nous donner une idée sur les bonnes décisions à prendre que ce soit, par le développement des infrastructures, des technologies utilisées ou bien seulement de mise en œuvre d'améliorations sur les procédures d'exploitation et des circuits passagers déjà mis en place. Par exemple, un passager arrivant à un aéroport qui n'a pas une bonne signalétique sur l'emplacement des différents locaux, peut perdre son temps et arriver en retard, et rater même son vol et devenir un passager insatisfait et qui risque de ne plus revenir à cet aéroport et coller une mauvaise réputation sur l'aéroport en question, et sur le pays, en général, tout cela à cause d'une mauvaise signalétique.

Au Maroc et à l'instar des pays en voie de développement, a été tracé d'ambitieux programmes pour son ouverture à une nouvelle stratégie touristique. Ainsi, après le Plan Azur (lancé en 2001) et Vision 2010, le nouveau plan Vision 2020 (lancé en 2010) a fixé pour objectif de rendre le Maroc parmi les vingt premières destinations touristiques mondiales, en tablant sur 18 à 20 millions de passagers par an. Ce chiffre a été



effectivement largement dépassé en 2017 [73]. Ainsi, le Maroc, notamment au niveau de son aéroport international classé n° 1 au niveau du continent Africain, se trouve, en permanence, en besoin d'une, voire plusieurs solutions qui peuvent optimiser ses flux passagers ; des solutions garantissant la satisfaction des passagers, leur sécurité et sûreté avec un minimum de coût d'investissement. C'est dans cette perspective que s'installe notre sujet de recherche ayant comme objectif l'optimisation du circuit du passager à travers une analyse approfondie de ce circuit et la proposition d'un modèle optimisé, le plus approprié aux installations mises en place.

V. CONCLUSION

A travers ce travail, nous avons pu expliquer la problématique mondiale de gestion des flux des passagers dans le domaine aéroportuaire et aussi, nous avons présenté une panoplie de travaux de modélisations d'une manière à expliquer l'approche et les modèles suivis, les outils utilisés ainsi que leurs apports sur les plateformes utilisées. Grâce à cette revue de littérature, nous avons pu déduire le besoin de notre étude ; nous avons pu argumenter le choix de l'approche retenue pour développer la gestion des flux au niveau du circuit départ, une approche holistique, qui modélise, simule puis optimise les performances du système grâce à une simulation du comportement de ses différents composantes.

Devant la croissance du trafic aérien au niveau international, les aéroports doivent être conçus pour les usagers et efficaces pour les exploitants. Ils doivent par conséquent résoudre l'équation de garantir la fluidité attendue par le passager et de gérer la complexité et la divergence des autres processus aéroportuaires. Sans une politique d'accompagnement de cette croissance, la saturation de l'ensemble du système est inévitable à termes. Alors, comment concilier cette fluidité attendue par les passagers et processus aéroportuaires en prenant en compte tous les enjeux précités ?

Dans cet article nous avons présenté les différents facteurs de croissance du trafic aérien et les différents enjeux engendrés par cette croissance. Aussi, nous avons présenté une panoplie de travaux d'optimisation des flux passagers et finalement nous avons discuté sur l'opportunité d'une étude générique sur les aéroports du Maroc et particulièrement son aéroport Mohammed V, le plus grand aéroport Marocain qui fera l'objet d'un travail approfondi d'optimisation du flux passagers départ.

REFERENCES

- [1] IATA, "vision 2050, rapport," 12 February 2011.
- [2] A. A. Ariffin and M. Fahmi Yahaya, "The relationship between airport image, national identity and passengers delight: A case study of the Malaysian low cost carrier terminal(LCCT)," *Journal of Air Transport Management* 31, pp. 33-36, 2013.
- [3] A.-C. Marchat and C. Camelis, "l'image de marque de la destination et son impact sur les comportements post-visite des touristes," *Gestion et management public* 2017/1 (Volume 5 / n° 3), pp. 43-58, 2017.
- [4] IATA, "communiqué du 24 Octobre 2017 à Genève," 24 Octobre 2017.
- [5] AIRBUS, "Future Journeys 2013- 2032," France, September 2013.
- [6] WTTC, "TRAVEL & TOURISM ECONOMIC IMPACT 2017 WORLD," 2017.
- [7] R. M.Courteau, "les perspectives d'évolution de l'aviation civile à l'horizon 2040 :Préserver l'avance de la France et de l'Europe," N° 658 Sénat- Session ordinaire DE 2012-2013, France, 2013.
- [8] Wikipedia, "Wikipedia," [Online]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Avion_de_ligne. [Accessed 11 Novembre 2018].
- [9] www.aci.aero/news, "ACI releases preliminary 2016 world airport traffic rankings—Robust gains in passenger traffic at hub airports serving trans-Pacific and East Asian routes," 19 Avril 2017. [Online]. Available: <https://aci.aero/news/2017/04/19/aci-releases-preliminary-2016-world-airport-traffic-rankings-robust-gains-in-passenger-traffic-at-hub-airports-serving-trans-pacific-and-east-asian-routes/>. [Accessed 29 Novembre 2018].
- [10] H. I. M. Irtema, A. Ismail, M. N. Borhan, A. M. Das and A. B. Alshetwi, "Case study of the behavioural intentions of public transportation passengers in Kuala Lumpur," *Case Studies on Transport Policy*, 2018.
- [11] Y. Geng, J. Yu, B. Lin, Z. Wang and Y. Huang, "Impact of individual IEQ factors on passengers' overall satisfaction in chine airport terminals," *Building and Environment* 112 , pp. 241-249, 2017.
- [12] Y. Z. Ming Hsin Lin, "Hub Airport congestion pricing and capacity investment," *Transportation Reserach-Part B*, pp. 89-106, 2017.
- [13] A. L. Czerny, "airport congestion pricing under uncertainty," *ransportation research - Part B*, pp. 371-380, 2010.
- [14] DGAC- Direction générale de l'aviation civile, "Evaluation du réaménagement de nates atlantiques dans le scénario de maintien de l'activité," Novembre 2013.
- [15] P. M. Simone Gitto, "Improving airport services using sentiment analysis of the websites," *Tourism Management Perspectives*, pp. 132-136, 2017.
- [16] C. F. G. George Christian Linhares Bezzer, "Measuring airport service quality: A multidimensional approach," *Journal of Air Transport Management*, pp. 85-93, 2016.
- [17] J. L. J. Ancor Suarèz Alemàn, "Quality Assessment of airport performance from the passaengers' perspective," *Reserach in Transportation business and management*, pp. 13-19, 2016.
- [18] A. K. D. C. N. R. a. M. M. Ms Fayez, "Management airport operations using simulation," *Journal of simulation*, pp. 42-52, 2008.
- [19] P. P.-Y. Wu and K. Mengersen, "A review of models and model usage scenarios for an airport complex system," *Transportation research-Part A*, pp. 124-140, 2013.
- [20] M. M. Mota, "Check-in allocation improvements through the use of Simulation-Optimization approach," *Transportation Reserach PartA*, pp. 320-335, 2015.
- [21] K. Artur, "A model of check-in system management to reduce the security checkpoint variability," *Simulation Modeling Practice and theory*, pp. 80-98, 2017.
- [22] J. James, "The Airport Waiting Game --- From Check-In to takeoff, long lines ground flyers," *Wall street journal*, p. B1, 2001.
- [23] J. L. V. R. A. E. Torres, "Passenger waiting time at an airport and expenditure carried out in the commercial area," *Journal of Air transport Management*, pp. 363-367, 2005.
- [24] M. w. Jacek SKorubski, "A method to evaluate a time of waiting for



- late passenger," *Journal of air Transport Management*, pp. 79-89, 2015.
- [25] K. Zografos G. and M. Madas A., "Development and demonstration of an integrated decision support system for airport performance analysis," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, pp. 1-17, 2006.
- [26] A. Sultan, L. Robert and Y. Prasad KDV., "Framework for airport outbound passenger flow modelling," *Procedia Engineering*, pp. 1100-1109, 2017.
- [27] B. Dietrich, "Taxonomy of discrete manufacturing systems," *Journal of Operations Research*, Vol. 39, n°6, pp. pp.886-902., 1991.
- [28] A. Zouggar, "Thèse: Impact des contrats d'approvisionnement sur la performance de la chaîne logistique :Modélisation et simulation," Université Bordeaux 1, 2009. Français. <tel-00670398>, Bordeaux, France, 2009.
- [29] B. Vanja, B. A. B. Milos, W. Yang and C. Cobanoglu, "The impact of traveler-focused airport technology on traveler satisfaction," *Technological Forecasting & Social Change* 123, p. 351-361, 2017.
- [30] A. R. Odoni, "FOREWORD," in *Transportation Engineering: Multi-Modal Transportation Networks, Theory, Practice and Modeling*, 2016, pp. 19-20.
- [31] M. e. a. Calder et al, "Computational modelling for decision-making: where, why, what, who and how," *Royal Society Open Science*, pp. 1-15, 2018.
- [32] P. P.-Y. Wu, J. Pitchforth and K. Mengersen, "A hybrid queue-based bayesian network framework for passenger facilitation modeling," *Transportation Research Part C*, pp. 247-260, 2014.
- [33] D. Olaru and S. Emery, "Simulation and GA-optimisation for modeling the operation of airport passenger terminals," *29th Conference of Australian Institutes of Transport Research*, 2007.
- [34] c. E. c. P. A. R. Jaun Plo Cavada, "A simulation approach to modelling baggage handling systems at an international airport," *Simulation Modelling Practice and Theory* 75, p. 146-164, 2017.
- [35] j. Yuxiong, C. Yixuan, D. Yuchuan and Z. H. Michael, "Comparative Analyses of Taxi Operations at the Airport," *Transportation Research Procedia* 25, p. 2222-2232, 2017.
- [36] R. Stolletz, "Operational workforce planning for check-in counters at airports," *Transportation Research Part E*, pp. 414-425, 2010.
- [37] R. Stolletz, "analysis of passenger queues at airport terminals," *Research in transportation business and management*, pp. 144-149, 2011.
- [38] s. Wilke, A. Majumdar and O. Washington Y, "Airport surface operations: A holistic framework for operations modeling and risk management," *Safety Science* 63, pp. 18-33, 2014.
- [39] D. Hafila, A. Radja, N. Rakoto-Ravalontsalama and Y. Lafdail, "Modeling and Simulation of Baggage Handling System in a large airport," *The 18th Asia Pacific Industrial Engineering and Management System Conference (APIEMS 2017)*, Dec 2017, Yogyakarta, Indonesia., pp. <hal-01686750>, 2017.
- [40] C. Juan Pablo, C. Cristián E. and R. Pablo A., "A simulation approach to modelling baggage handling systems at an international airport systems at an international airport," *Simulation Modelling Practice and Theory* 75, p. 146-164, 2017.
- [41] D. Pavlič, M. Jadrić and M. Čukušić, "Discrete Simulation Modeling of Intelligent Passenger boarding," *MIPRO BIS 2018*, pp. 1462-1467, 2018.
- [42] J. R. Brown and P. Madhavan, "Examining passenger flow choke points at airports using discrete event simulation," pp. 471-477.
- [43] G. Guizzi, T. Murino and Romano, "A Discrete Event Simulation to model Passenger Flow in the Airport Terminal," *Proceeding MMACTEE'09 Proceedings of the 11th WSEAS international conference on Mathematical methods and computational techniques in electrical engineering-mathematical methods and applied computing*-ISBN: 978-960-474-124-3, ISSN: 1790-2769, pp. 427-434, 2009.
- [44] M. Fayeze, A. Kaylani, Cope, Rychlik and M. Mollaghasemi, "Managing airport operations using simulation," *Journal of Simulation* 2, , p. 41-52, 2008.
- [45] A. T. Al-Sultan, "Airport Check-In Optimization by IP and Simulation in combination," *World Academy of Science, Engineering and Technology-International Journal of Mathematical and Computational Sciences Vol 9, num 1*, pp. 403-406, 2015.
- [46] A. Kaddoussi, "thèse: Optimisation des flux logistiques vers une gestion avancée de la situation de crise," 2013.
- [47] J. Arif, "Thèse: L'externalisation des activités logistiques, vers la mise au point d'un outil d'aide à la décision," Fès, 2016.
- [48] I. BENNIS, "Apport de la modélisation aux systèmes hospitaliers," 2014.
- [49] I. Bennis, J. Saadi and A. Bellabdaoui, "Modélisation et Simulation dans les centres de transfusion sanguine : Cas du CRTS de Casablanca," *Conference paper*, 2016.
- [50] H. E. Hassani, "thèse: Intelligence artificielle pour l'optimisation multi-objectifs dans les chaînes logistiques vertes," ENSEM, Morocco.
- [51] I. H. Khalifa, "Thèse: Approches de modélisation et d'optimisation pour la conception d'un système interactif d'aide au déplacement dans un hypermarché," *Ecole Centrale de Lille*, 2011. Français, Lille, 2011.
- [52] H. H. Lee, "thèse: An Intelligent Optimization System for Terminal," Minnesota, 2013.
- [53] K. G. Zografos, K. .. Androutsopoulos and M. A. Madas, "Minding the gap: Optimizing airport schedule displacement and acceptability," *Transportation Research Part A*, p. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2017.09.025>, 2017.
- [54] W. Behiri, "thèse: Une m?thodologie pour mod?liser et optimiser la mutualisation du transport ferroviaire urbain de marchandises et de passagers. Modélisation et simulation. Université Paris-Est," Paris, 2017.
- [55] G. Bruno and A. Genovese, "A Mathematical Model for the Optimization of the airport check-in service problem," *Electronic Notes in Discrete Mathematics* 36, p. 703-710, 2010.
- [56] A. Norin, T. A. Granberg, D. Yuan and P. Värbrand, "Airport logistics e A case study of the turn-around process," *Journal of Air Transport Management* 20, pp. 31-34, 2012.
- [57] L. Adacher, M. Flamini, M. Guaita and E. Romano, "A model to optimize the airport terminal departure operations," *Transportation Research Procedia* 27-"20th EURO Working Group on Transportation Meeting, EWGT 2017, 4-6 September 2017", p. 53-60, 2017.
- [58] R. Wesonga, "Airport utility stochastic optimization models for air traffic flow management," *European Journal of Operational Research* 242, p. 999-1007, 2015.
- [59] I. E. Manataki and K. G. Zografos, "Assessing airport terminal performance using a system dynamics model," *Journal of Air Transport Management* 16, p. 86-93, 2010.
- [60] R. de neufville, R. Odoni, P. Belobaba and T. Reynolds, *Airport system planning Design and management*, McGraw-HALL, 2013.
- [61] A. S. B. & H. J. Tarau, "Predictive Route Control for Automated Baggage Handling Systems Using Mixed-Integer Linear programming," *Transportation Research Part C*, pp. (pp. 424-439), 2011.



-
- [62] M. Takebayashi, "Managing airport charges under the multiple hub network with high speed rail: Considering capacity and gateway function," *Transportation Research Part A* 112, p. 108-123, 2018.
- [63] M. Nandhini, K. Palanivel and S. Oruganti, "Optimization Of Airport Check-In service scheduling," DOI: 10.13140/2.1.4056.7041, 2012.
- [64] Ö. O. Dalgıç, Y. Seçer, G. S. Nemutlu and N. F. Ünver, "ANALYSIS OF AIRPORT CHECK-IN COUNTER ALLOCATION POLICIES USING SIMULATION," *Proceedings of the International Conference on Modeling and Applied Simulation*, 2012, pp. 278-285, 2012.
- [65] M. M. Félix, "Micro-simulation of check-in operations: case study of lisbon airport's terminal 1," 2015.
- [66] A. Kierzkowski and T. Kisiel, "Simulation model of security control system functioning: A case study of the Worclaw airport terminal," *Journal of Air Transport Management* 64, pp. 173-185, 2017.
- [67] P. F. i. Casas and C. ., Ferran X., "Passenger flow simulation in a hub airport : An application to the Barcelona international airport," *Simulation Modelling Practice and Theory*, pp. 78-94, 2014.
- [68] M. W. Fookes, Kleinschmidt T. and Yarlaga P., "Modelling Passengers Flow at Airport Terminals _Individual Agent Decision Model for Stochastic Passenger Behaviour," In *Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications*, pp. 109-113, Simultech 2012.
- [69] Biometric-Technology-Today, "Lufthansa and Siemens trial fingerprint Check-In," November/December 2005.
- [70] Proavia, "smart airports innovations," Proavia, paris, 2017.
- [71] C. Oliveira, C. oaquim and M. Sarmento, "Airport privatization with public finances under stress: An analysis of government and investor's motivations," *Journal of Air Transport Management*, pp. 197-203, 2017.
- [72] DGAC, STAC, "Capacité aéroportuaire, Guide technique," Direction Générale de l'Aviation Civile, Service technique de l'Aviation civile, FRANCE, Juillet 2018.
- [73] ONDA, "www.onda.ma," [Online]. [Accessed 21 Novembre 2018].