

Capacité des aéroports passagers

Guide technique



Ressources, territoires, habitats et logement
Énergie et climat
Prévention des risques
Développement durable
Infrastructures, transports et mer

Présent
pour
l'avenir

Capacité des aéroports passagers

Service technique de l'aviation civile
94 381 BONNEUIL-SUR-MARNE CEDEX

Département Aménagement, Capacité, Environnement

Rédacteur - Guilhem PIAT
Vérificateur - Frédéric FUSO
Approbateur - Frédéric FUSO



Résumé *Summary*

L'aérogare est le maillon aéroportuaire qui permet au passager d'effectuer les formalités nécessaires pour passer d'un mode de transport terrestre à un mode de transport aérien, et vice-versa.

La capacité est une donnée capitale, nécessaire pour :

- déterminer le trafic que peut traiter l'aérogare,
- estimer la date prévisible de saturation en fonction de l'augmentation du trafic,
- identifier les éléments bloquants de l'infrastructure.

L'objectif de ce guide technique est de présenter plusieurs méthodes directement applicables à la détermination de la capacité d'une aérogare de passagers, avec différents niveaux de précision et de complexité.

Il est principalement destiné aux gestionnaires et exploitants d'aéroports, compagnies aériennes, organismes régulateurs, bureaux d'études en programmation et en conception d'aérogares.

Passenger terminal buildings are designed to handle passengers while they transfer from a ground transport mode to an air transport mode, and reciprocally.

Capacity is a key information, required to:

- calculate how much traffic can be handled by the facility,
- estimate the predictable time of congestion due to traffic growth,
- find the most restraining parts of the facility.

This technical guide aims at proposing several methods that can be directly used to determine the capacity of a passenger terminal building, with different levels of accuracy and complexity.

It is mainly addressed to airports, airlines, regulation authorities, architects and engineering consultants involved in passenger terminal sizing and design.

Analyse *Analysis*

Le document décrit quelques principes généraux avant de développer le cas particulier de l'aérogare dans le système aéroportuaire.

Le fonctionnement d'une aérogare et les notions de trafic passager de référence sont abordés en détail, avant de s'intéresser aux paramètres influant sur la capacité.

Trois méthodes sont ensuite proposées, adaptées à divers usages et correspondant à différents niveaux de précision: la méthode globale simplifiée, la méthode « macroscopique » et la méthode « microscopique » par simulation.

Enfin, le lien entre capacité horaire et capacité annuelle est abordé, ainsi que les relations entre la capacité en nombre de mouvements et en nombre de passagers.

Pour terminer, un certain nombre de voies de recherches sont proposées sur l'optimisation de la capacité des infrastructures et la gestion des flux.

Le dimensionnement d'un bâtiment relève de la démarche inverse: partant d'un trafic de référence donné, il s'agit de déterminer les caractéristiques structurelles du bâtiment (surfaces, nombre d'équipements de traitement) lui permettant de traiter le trafic en tenant compte des objectifs de qualité de service fixés et de son mode de fonctionnement.

Le présent manuel est présenté sous l'angle de la capacité. Il est néanmoins facile d'en déduire des règles de dimensionnement par réversibilité des formules.

The document describes some general principles, and then outlines the passenger terminal building in the airport system.

It covers in detail the passenger terminal processes and the notion of reference traffic, before reviewing the parameters impacting capacity.

Three methods are proposed, made for different purposes and corresponding to different levels of accuracy: the simplified global method, the "macroscopic" method and the "microscopic" method by simulation.

Eventually, the relations between peak hour capacity and annual capacity is discussed, as well as the relations between capacity in number of movements and number of passengers.

In the end, some ideas are proposed for future improvements in capacity optimization and flow management.

Designing and sizing a facility is the reverse approach: from a given passenger traffic, the goal is to define the structural characteristics of the building (space, number of processing equipments) to be able to handle the passenger flow, with a targeted quality of service and given its exploitation mode.

The document is focused on capacity assessment. However, it is relatively easy to reverse the formulas, turning them into sizing rules.

Sommaire

INTRODUCTION ET OBJECTIFS DU GUIDE	5
1. CAPACITÉ ET AÉROGARE	6
1.1. Problématique	6
1.2. Capacité	7
1.3. L'aérogare passagers	10
1.4. Le trafic passager de référence	16
2. MÉTHODE GLOBALE SIMPLIFIÉE	19
2.1. Principe	19
2.2. Champ d'application	19
2.3. Calcul	20
2.4. Commentaires	22
3 MÉTHODE MACROSCOPIQUE	23
3.1. Principe et champ d'application	23
3.2. Paramètres	23
3.3. Détermination de la capacité des différents modules	28
3.4. Récapitulatif	44
3.5. Diagnostic de capacité d'une aérogare existante	45
4. LA MÉTHODE MICROSCOPIQUE	52
4.1. Principe	52
4.2. Champ d'application	52
4.3. Paramètres	53
4.4. Approche simplifiée de la simulation d'une file d'attente	57
4.5. Analyse d'outils de simulation disponibles sur le marché	61
5. DE LA CAPACITÉ HORAIRE À LA CAPACITÉ ANNUELLE	64
5.1. Qu'est-ce que la « capacité annuelle »	64
5.2. Relation simplifiée entre trafic annuel et trafic à l'heure de pointe	64
5.3. Formule de la 40 ^{ème} heure	65
5.4. Relation avec le nombre de mouvements avions	66
6. PERSPECTIVES ET VOIES DE RECHERCHE	67
6.1. Facilitation	67
6.2. Gestion dynamique de la capacité	69
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.	70

Introduction

L'objectif de ce manuel est de présenter plusieurs méthodes de détermination de la capacité d'une aérogare de passagers. Il est destiné à tous les acteurs du transport aérien : organismes régulateurs, gestionnaires et exploitants d'aéroports, compagnies aériennes, bureaux d'études en programmation et en conception d'aérogares.

Après un énoncé succinct de quelques principes généraux sur la capacité d'un système, le cas particulier de l'aérogare dans le système aéroportuaire sera développé. Puis le fonctionnement d'une aérogare et les notions de trafic passager de référence seront décrits et analysés en détail.

Trois grandes catégories de méthodes seront ensuite proposées, correspondant à différents niveaux de précision et adaptées à divers usages : la méthode globale simplifiée, la méthode « macroscopique » et la méthode « microscopique » par simulation.

Ces méthodes seront présentées essentiellement sous l'angle de la capacité. Il est néanmoins possible d'en déduire des principes de dimensionnement d'une aérogare par réversibilité des formules.

Enfin, le lien entre capacité horaire et capacité annuelle sera abordé, ainsi que les relations entre la capacité en nombre de mouvements et la capacité en nombre de passagers.

Pour terminer, un certain nombre de voies de recherches seront proposées sur l'optimisation de la capacité des infrastructures et la gestion des flux.

1 Capacité et aéroport

Définition: la capacité aéroportuaire est le nombre de demandes qui peut être traité pendant une période donnée par un ensemble d'installations aéroportuaires étant données une qualité de service retenue et la nature et le volume d'offres proposées par l'ensemble des acteurs impliqués.

1.1. Problématique

Pour connaître le trafic qui peut être traité par un aéroport, il est nécessaire de déterminer la capacité de cet aéroport, c'est-à-dire de chacun des maillons qui le constituent. La capacité est une donnée capitale aussi bien pour le gestionnaire de l'aéroport que pour l'organisme de tutelle ou encore les compagnies aériennes. C'est à partir de cette donnée que pourront être déterminés:

- le trafic que peut traiter l'infrastructure,
- la date prévisible de saturation de l'infrastructure compte tenu de l'évolution prévue du trafic,
- les éléments (maillons) bloquants d'un aéroport, ce qui permettra d'optimiser l'infrastructure.

L'aérogare est le maillon aéroportuaire qui permet au trafic de passagers, de bagages ou de fret d'effectuer les formalités nécessaires pour passer d'un mode de transport terrestre à un mode de transport aérien, et vice-versa. Pour évaluer la capacité d'une aérogare, après avoir défini une qualité de service, il faut déterminer plusieurs catégories de paramètres:

- les caractéristiques structurelles de l'aérogare, qui dépendent de la façon dont sont conçus, aménagés et équipés les terminaux,
- les caractéristiques d'exploitation, qui décrivent le fonctionnement de l'aérogare, les procédures de traitement des passagers et des bagages, le mode d'allocation des ressources,
- la nature et les caractéristiques des flux traités.

Le dimensionnement d'une nouvelle aérogare, l'extension ou le réaménagement d'une infrastructure existante relèvent d'une démarche inverse: partant d'un trafic de référence donné, il s'agit de déterminer les caractéristiques structurelles (surfaces, nombre d'équipements) du bâtiment compte tenu des objectifs de qualité de service fixés et du mode de fonctionnement choisi.

Le présent manuel est présenté essentiellement sous l'angle de la capacité. Il est néanmoins facile d'en déduire des règles de dimensionnement par réversibilité.

Plusieurs méthodologies sont proposées correspondant à différents niveaux de précision, les méthodes les plus fines nécessitant un volume plus important de données, donc une meilleure connaissance de l'infrastructure, de l'exploitation et du trafic.



Méthode	Domaine d'utilisation	Précision	Descriptif
Globale	Planification, faisabilité (ordres de grandeur)	Faible	Méthode simplifiée basée sur des ratios globaux et l'analyse comparative d'aéroports existants. Mise en œuvre rapide, très peu de paramètres.
Macroscopique	Pré-dimensionnement et dimensionnement	Moyenne	Méthode utilisant des ratios d'allocation d'espace et des débits par module de trafic. Mise en œuvre plus complexe, nombre élevé de paramètres.
Microscopique	Conception et Exploitation (optimisation)	Élevée	Méthode par simulation de l'écoulement des flux dans l'aérogare. Mise en œuvre lourde, très grand nombre de paramètres.

Ce manuel traite de la capacité du maillon « aéro-gares passagers ». Les capacités du côté piste et de l'interface piste/aérogare ne sont pas traitées, ni celles du côté « ville » et des accès à l'aéroport. Il ne traite pas non plus de la capacité des aéro-gares de fret (même si des analogies existent avec les aéro-gares passagers).

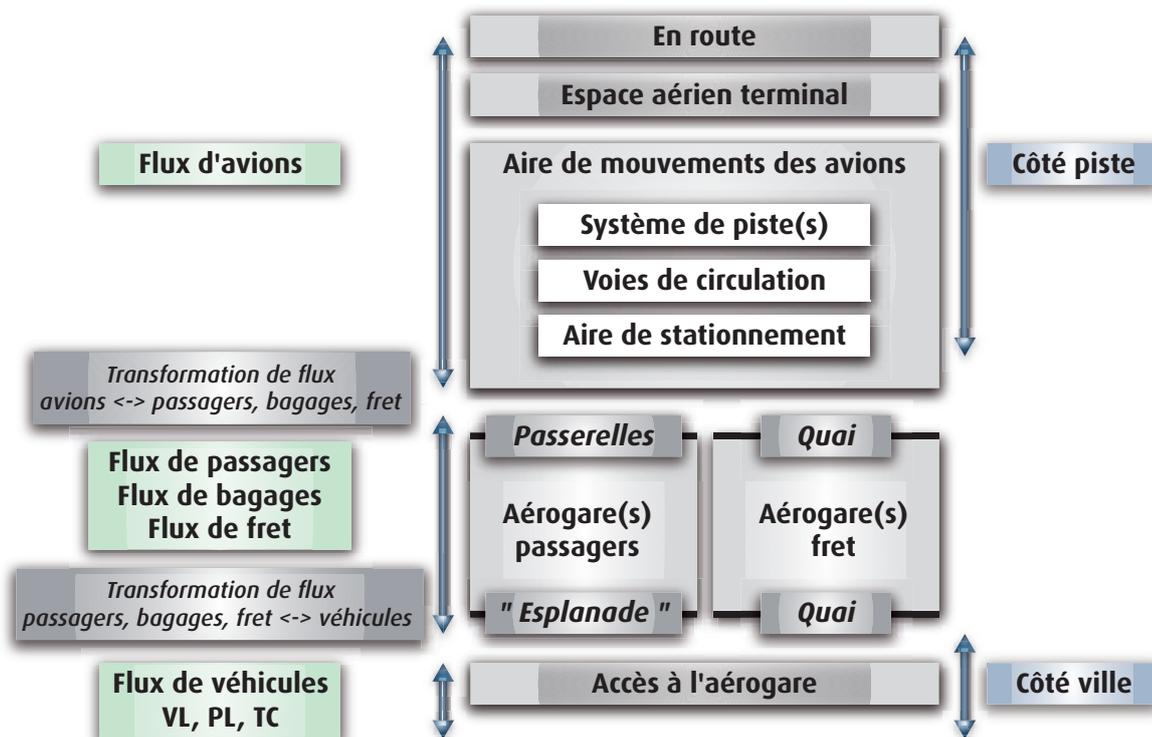
1.2. Capacité

1.2.1. L'aérogare dans le système aéroportuaire

Système : totalité organisée faite d'éléments solidaires ne pouvant être définis que les uns par rapport aux autres en fonction de leur place dans cette totalité.

L'aéroport est un système de traitement de flux (d'avions, de passagers, de bagages, de fret, de véhicules). Globalement, le rôle d'un aéroport est de permettre la transformation de voyageurs, bagages et fret en « lots » embarqués dans des avions en vol, et inversement.

L'organigramme suivant présente le système aéroportuaire composé de plusieurs sous-systèmes interconnectés, « maillons » de la chaîne du transport aérien. L'aérogare passagers est l'un de ces maillons.



Chaque sous-système peut être considéré comme un réseau constitué de trois types d'éléments :

- des « liens », dont le rôle est de permettre le déplacement d'un flux sans modification de sa structure : ce sont tous les espaces purement dédiés à la circulation, escaliers, escalators ou couloirs,



- des « **réservoirs** », dont le rôle est de stocker les éléments d'un flux: ce sont toutes les zones d'attente, par exemple les salles d'embarquement ou files d'attente à l'enregistrement,



- des « **processeurs** », qui opèrent une transformation, modifiant les caractéristiques du flux au moyen d'un contrôle ou d'une transaction: par exemple les filtres, banques d'enregistrement ou PIF.

Des processeurs particuliers jouent le rôle d'interface entre deux sous-systèmes: c'est le cas de l'esplanade (entre le « côté ville » et l'aérogare passagers), des passerelles et bus d'accès aux avions (entre l'aérogare passagers et les avions stationnés) et des quais de chargement et de déchargement pour le fret.



1.2.2. Principes généraux

Ce sont les conditions de circulation des flux de passagers et de leurs bagages entre les différentes formalités dont ils ont à s'acquitter qui déterminent la capacité. L'aérogare, au sens de l'analyse systémique, est une succession de liens (zones de circulation), réservoirs (salles et files d'attente) et de processeurs (filtres de contrôle, guichets).

La capacité correspond au nombre maximum d'entités qui peuvent être « traitées » sur une période de temps donnée dans des conditions de fonctionnement et de qualité de service définies:

- pour un lien: nombre d'entités qui peuvent être déplacées,
- pour un réservoir: nombre d'entités qui peuvent être stockées,
- pour un processeur: nombre d'entités qui peuvent être transformées.

Le fonctionnement du système est altéré dès que l'un de ces éléments ne peut plus traiter le flux dans les conditions de fonctionnement et de qualité de service définies: **c'est le maillon le plus faible de cette chaîne qui limite la capacité de l'ensemble**. Un gestionnaire a donc intérêt à rechercher un équilibre entre les capacités de chacun des éléments.

1.2.3. Capacité horaire d'une aérogare passagers

Par définition, la capacité d'une aérogare est le débit de passagers et de bagages qui peuvent y être écoulés en respectant les contraintes de sûreté, une qualité de service et en intégrant son mode de fonctionnement.

La capacité d'une aérogare va dépendre de son aptitude à gérer les flux de passagers et bagages de soute principalement. Elle dépend donc du flux à traiter (structure du trafic, typologie de passagers), des ressources allouées (surfaces, nombre d'équipements), mais aussi de l'agencement de ces ressources entre elles et de leur potentiel à évoluer en fonction des besoins (modularité et flexibilité).

La période de temps généralement utilisée pour étudier la capacité d'une aérogare est l'heure. Pour des raisons de fonctionnement, il peut être plus pertinent de considérer une unité de temps différente (durée d'une plage de hub, journée...); les méthodes proposées dans le présent manuel sont adaptables.

Les formules générales théoriques de calcul de capacité pour les éléments constitutifs d'une aérogare sont les suivantes:

$$C_{\text{réservoir}} = \frac{\text{Surface utile}}{\text{Ratio} \times \text{Temps d'occupation}} \quad \frac{[\text{m}^2]}{[\text{m}^2/\text{pax}] \times [\text{h}]}$$

$$C_{\text{processeur}} = \frac{\text{Nb d'unités de traitement}}{\text{Temps de traitement individuel}} \quad \frac{[\text{h}/\text{pax}]}{[\text{h}/\text{pax}]}$$

$$C_{\text{lien}} = \frac{\text{Vitesse} \times \text{Largeur}}{\text{Ratio}} \quad \frac{[\text{m}/\text{h}] \times [\text{m}]}{[\text{m}^2/\text{pax}]}$$

Sauf cas particuliers, on considère que les flux de bagages, d'accompagnants et de personnel de bord sont corrélés à ceux des passagers par de simples ratios de proportionnalité. La capacité d'une aéro-gare exprimée en nombre de passagers suffit donc à traduire la capacité globale d'une aéro-gare à écouler l'ensemble des flux qu'elle traite.

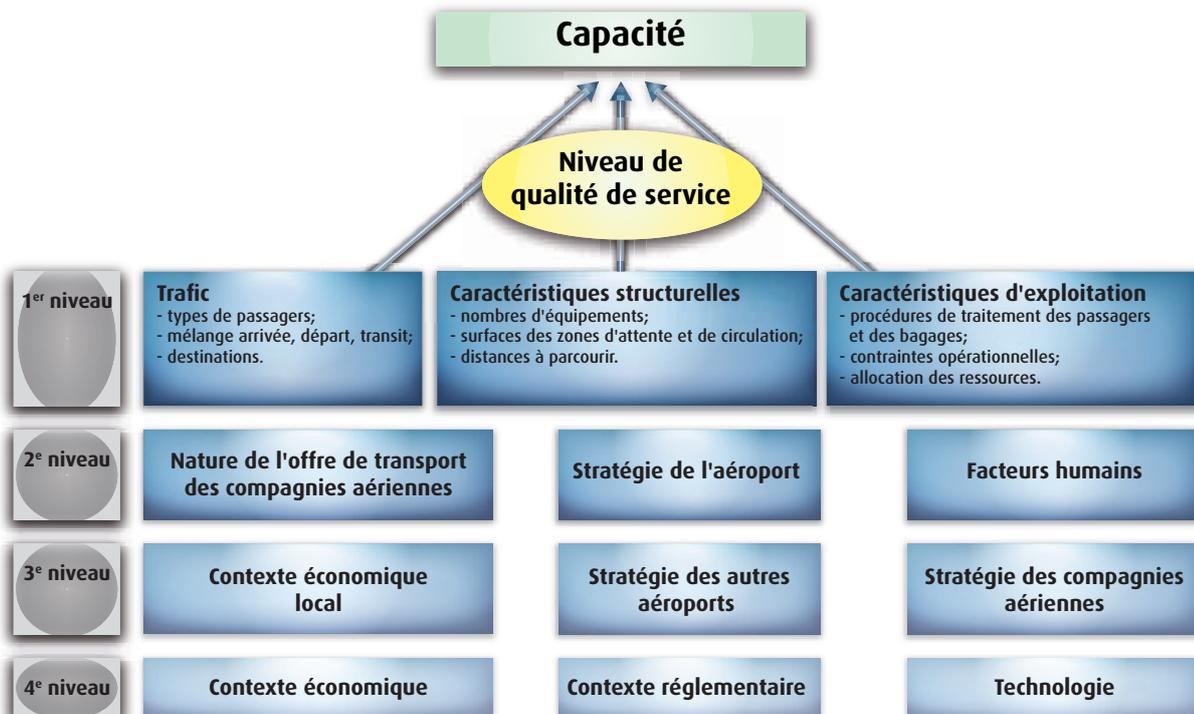
Il existe plusieurs capacités horaires, correspondant à différents flux traités:

- Cp ou capacité horaire totale, comprend l'ensemble des passagers à l'arrivée, au départ et en correspondance;
- Cd ou capacité horaire au départ, comprend l'ensemble des passagers au départ;
- Ca ou capacité horaire à l'arrivée, comprend l'ensemble des passagers à l'arrivée;
- il peut être intéressant de définir, selon les besoins, des capacités horaires au départ ou à l'arrivée, en régime Schengen ou hors Schengen;
- dans les aéroports ayant une forte proportion de passagers en correspondance, il pourra être pertinent de créer des notions de capacité supplémentaires pour les différencier des passagers « locaux ».

Conclusions: toute étude doit reposer sur un choix pertinent des flux de passagers considérés et une définition claire des capacités en fonction des besoins et des spécificités de l'aéro-gare.

1.2.4. Les facteurs de la capacité

Les multiples paramètres agissant sur la capacité d'une aéro-gare sont présentés sur le schéma suivant. Ils sont organisés en plusieurs « niveaux ». En réalité, seuls les facteurs de 1^{er} niveau ont un impact direct, immédiat et quantifiable sur la capacité d'une aéro-gare. Les facteurs de 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} niveau peuvent être qualifiés de meta-facteurs: leur évolution combinée influe, avec plus ou moins d'amplitude et d'élasticité dans le temps, sur ceux de niveau inférieur.



Les relations d'interaction et de cause à effet entre ces paramètres sont extrêmement complexes : par exemple, une évolution du contexte économique global peut avoir des conséquences sur l'économie locale, qui entraînent un changement de stratégie de l'aéroport et des compagnies, une modification de l'offre en transport aérien, donc une évolution de la structure du trafic et de la capacité. Des effets rétroactifs peuvent même être observés : la création de nouvelles lignes aériennes renforce l'attractivité touristique et économique de la zone et impacte le contexte économique local.

Les facteurs de 2^e, 3^e et 4^e niveau, d'ordre plus stratégique que véritablement technique, ne font pas l'objet du présent manuel.

1.2.5. Qualité de service

La capacité d'une aérogare est indissociable de la notion de qualité de service. La qualité de service traduit l'adéquation entre « l'offre » et la « demande », c'est-à-dire la façon dont l'aérogare répond aux attentes des usagers en termes de confort et d'efficacité.

De nombreux facteurs peuvent affecter la qualité de service, comme la densité d'occupation, les temps d'attente et de traitement, la lisibilité et la compréhensibilité des circulations, les distances à parcourir et les équipements d'aide à la circulation, l'offre en places assises dans les zones d'attente, la disponibilité des chariots à bagages, les sanitaires, les services commerciaux, l'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite et handicapées, etc. Ces facteurs étant modulés par le « ressenti » des passagers, fonction de schémas psychologiques et comportementaux variés.

Deux critères principaux, quantifiables et objectifs, se dégagent :

- le **temps** d'attente et de traitement des passagers ou des bagages aux différents points de passage,
- l'**espace** disponible par passager dans les zones d'attentes et de circulation.

La qualité de service peut être considérée comme un levier d'action du gestionnaire de l'aérogare. La capacité d'une infrastructure donnée, exploitée selon des procédures connues, dépend du niveau de service admis par l'exploitant : par exemple, une infrastructure donnée pourra traiter 1000 pax/h dans de bonnes conditions, ou 1500 avec une qualité de service médiocre (c'est-à-dire une saturation plus importante).

Le rôle du gestionnaire est de trouver un compromis permettant de répondre aux besoins des utilisateurs, de satisfaire au mieux les exigences des compagnies (qui peuvent être très diverses suivant leur politique de qualité de service), tout en minimisant les coûts d'investissement et d'exploitation.

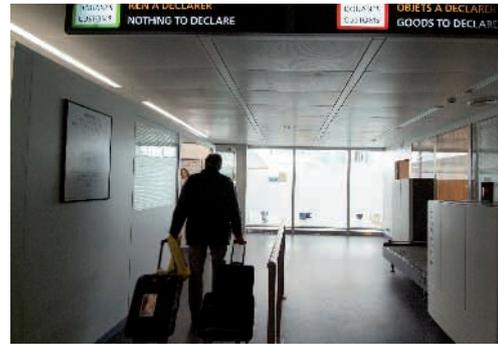
1.3. L'aérogare passagers

1.3.1. La fonction trafic

La « fonction trafic » comprend l'ensemble des locaux et équipements liés directement au traitement des flux de passagers et de bagages. Le tableau ci-après détaille les processeurs potentiellement critiques en termes de capacité, désignés par le terme « modules de la fonction trafic ».

Outre ces éléments qui forment le cœur fonctionnel du bâtiment, l'aérogare comprend d'autres fonctionnalités (commerciale, opérationnelle, administrative et technique) qui ont peu d'impact sur la capacité et ne sont pas prises en compte dans le présent manuel





1.3.1.1. Traitement des passagers au départ

Hall public départs	Zones d'accueil, de circulation et d'attente, desserte des différents modules, information, commerces, services, retrait du billet pour les passagers au départ avec leurs accompagnants. Les halls publics peuvent être mixtes (arrivées/départs).
Enregistrement	Zone comprenant les banques d'enregistrement des passagers et de leurs bagages, et les espaces réservés aux files d'attente à l'enregistrement. Un pré-filtrage avant la zone enregistrement est parfois mis en place pour en restreindre l'accès aux seuls passagers.
Postes Inspection Filtrage	(PIF) Contrôle de sûreté des passagers de leurs bagages à main : filtre de contrôle, local de fouille, espaces réservés aux files d'attente et à la circulation.
Contrôle émigration	Filtres de contrôle transfrontalier pour les passagers internationaux (dont la destination est hors espace Schengen) et espaces réservés aux files d'attente et à la circulation.
Zone d'embarquement	Zones d'attente et de circulation, services et commerces, salles d'embarquement, portes d'embarquement, contrôle des cartes d'embarquement.

1.3.1.2. Traitement des passagers à l'arrivée

Contrôles immigration	Filtres de contrôle transfrontalier de la Police de l'Air et des Frontières et espaces réservés aux files d'attente et à la circulation pour les passagers internationaux (provenance hors espace Schengen).
Zone de livraison bagages	Salles de livraison des bagages de soute (zone de circulation et d'attente), tapis de livraison des bagages, zone de stockage des chariots à bagages.
Halls publics arrivées	Zone d'accueil, de circulation et d'attente pour les passagers à l'arrivée et leurs accompagnants, information, commerces, services. Ils peuvent être mixtes (arrivées/départs).

1.3.1.3. Modules optionnels ou non critiques en termes de capacité

Zone de pré-embarquement	On voit se développer ce type de zones dans certains aéroports : il s'agit d'espaces d'attente et de circulation, services et commerces où tous les passagers (Schengen et internationaux) sont regroupés avant d'accéder à leur salle d'embarquement au dernier moment.
Zone transit	Zones d'attente et de circulation pour les passagers en correspondance avant qu'ils ne rejoignent la zone d'embarquement avec les autres passagers au départ.
Contrôles de santé (départ ou arrivée)	Ces contrôles peuvent être requis ponctuellement par les services de santé à l'arrivée. Ils nécessitent un local de contrôle, un espace pour la file d'attente et la circulation.
Contrôle douane (départ ou arrivée)	Filtres de contrôle douanier à l'arrivée (après le retrait des bagages). Ces contrôles réalisés par sondage ont généralement peu d'impact sur la capacité. Note : selon le contexte local, des contrôles douaniers peuvent être réalisés au départ.

1.3.1.4. Traitement des bagages de soute

Enregistrement des bagages de soute	Banques d'enregistrement, tapis de convoyage des bagages vers l'inspection-filtrage et le tri bagage départ.
Inspection-filtrage des bagages de soute	En France, la réglementation impose l'inspection-filtrage de 100 % des bagages de soute. L'IFBS se fait au moyen d'appareils de détection d'explosifs (EDS, tomographe), généralement selon une procédure multiniveaux en ligne en aval de l'enregistrement.
Tri bagage départ	Regroupement des bagages, tri par destination, chargement des chariots et conteneurs, zone de circulation et de stockage. Le tri et le convoyage peuvent être automatisés ou manuels (manutentionnaires).
Traitement bagages à l'arrivée	Zone de déchargement des chariots et conteneurs, circulation et stockage, dépose des bagages sur les tapis de livraison.
Traitement bagages en correspondance	Zone de déchargement des chariots et conteneurs, circulation et stockage, dépose des bagages, tapis de convoyage.

1.3.1.5. Interface avec le côté piste: la « passerelle »

« Passerelle »	<p>Pour les passagers, cette transformation peut être réalisée par plusieurs moyens :</p> <ul style="list-style-type: none"> - au contact du bâtiment (prépasserelles et passerelles télescopiques), - en « faux contact », les passagers se rendent directement à pied dans l'avion, - en éloignement, par bus ou véhicule spécialisé.
----------------	--

1.3.1.6. Interface avec le côté ville: « l'esplanade »

L'aérogare passager sert d'interface entre deux modes de transport, l'un aérien et l'autre terrestre. L'« esplanade » permet de transformer des flux de passagers avec bagages en flux de véhicules terrestres tels que les véhicules légers (particuliers, de location et taxis) et les transports en commun (bus, autocars, liaisons ferrées), et réciproquement. Elle regroupe les zones suivantes :

Parvis	<p>Large espace piéton en front d'aérogare assurant la liaison avec l'extérieur.</p> <p>Dans certains aéroports, le parvis peut à titre exceptionnel servir d'espace d'attente, avec la mise en place de banques d'enregistrement provisoires les jours de pointe.</p>
Aires de dépose rapide	Espaces de stationnement de très courte durée (« dépose minute ») desservant le côté ville de l'aérogare.
Parcs de stationnement	Parcs publics de stationnement moyenne et longue durée pour véhicules particuliers, véhicules de location, autocars, parcs privés ou réservés au personnel, etc.
Pôle taxi - bus	Aires de dépose et de prise en charge pour les autocars, autobus et taxi. Ces aires ne sont pas nécessairement jointes.
Gares	Gares ferroviaires ou de transport en site propre (Grandes lignes, interrégionales, régionales, tramway, tram-train, etc.) ou gares routières desservant l'aérogare.
Réseau de desserte	Le réseau de desserte interne de l'aéroport: voies ferrées, voies de circulation routière à usage public ou réservé (livraisons, taxi, bus, etc.)



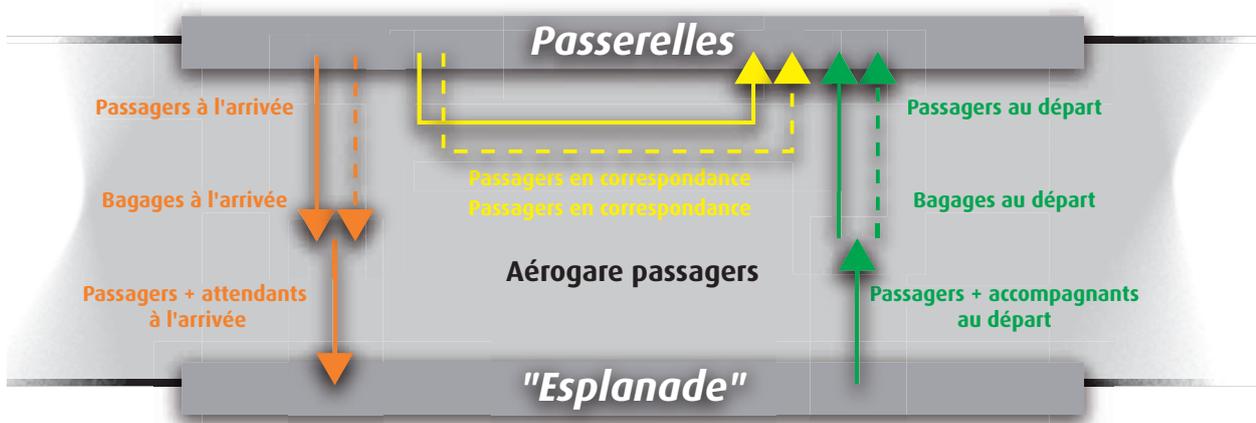
1.3.2. Gestion des flux

1.3.2.1. Flux significatifs dans l'aérogare passagers

L'aérogare traite plusieurs types de flux dont les principaux sont:

- le flux des passagers à l'arrivée, au départ, en correspondance,
- le flux des bagages à l'arrivée, au départ, en correspondance,

Elle accueille aussi d'autres flux dont l'impact est moindre en termes de capacité tels que des flux de personnes accompagnant les passagers au départ ou les accueillant à l'arrivée.



L'influence de ces « accompagnants » sur la capacité de l'aérogare se limite à certaines parties de la zone publique auxquelles ils ont accès:

- des flux de personnel d'exploitation de l'aérogare, d'assistance en escale ou navigants. Ils ont un faible impact en termes de capacité. Dans certains modules, les personnels navigants peuvent être pris en compte, par exemple, en ajoutant 5 personnels navigants pour 100 passagers au flux se présentant au contrôle de sûreté lorsqu'il n'y a pas de PIF spécifique,
- des flux de marchandises pour l'approvisionnement des commerces ou des flux liés à l'entretien et la maintenance, généralement négligés car ces opérations se font en dehors des heures de pointe.

Une aérogare doit aussi pouvoir permettre le traitement dans de bonnes conditions des passagers à caractéristiques spéciales comme les personnes médicalement assistées, les personnes à mobilité réduite, les mineurs non accompagnés, les VIP, etc. En règle générale, ces passagers représentent un très faible pourcentage des passagers totaux et ne sont pas considérés comme capacitifs. Les équipements spécifiques liés à leur traitement doivent néanmoins être pris en compte dans le dimensionnement.

Les bagages dits hors format ou hors gabarit sont rarement un facteur limitant la capacité horaire. Néanmoins, leur traitement doit être prévu lors de la conception (risque de blocages de certains modules): banque d'enregistrement hors format, systèmes de détection d'explosifs, de tri et de convoyage adaptés, etc.

1.3.2.2. Séparation des flux

En France, l'application des principes de sûreté dans l'aérogare impose une séparation totale et parfaitement étanche entre les passagers au départ qui ont passé l'inspection filtrage et tous les autres flux non « sûrs » : passagers au départ avant passage au PIF, mais aussi passagers à l'arrivée, etc. (Note: il en va de même pour les bagages de soute). Au sens de la sûreté, les espaces de traitement du passager sont donc divisés en :

- une zone publique dont l'accès est libre : halls publics, certaines salles de livraison bagages ;
- une zone de sûreté à accès réservé (ZSAR) d'accès contrôlé, qui comprend des « parties critiques » dans lesquelles seuls les passagers ou personnels ayant subi une inspection-filtrage sont admis.

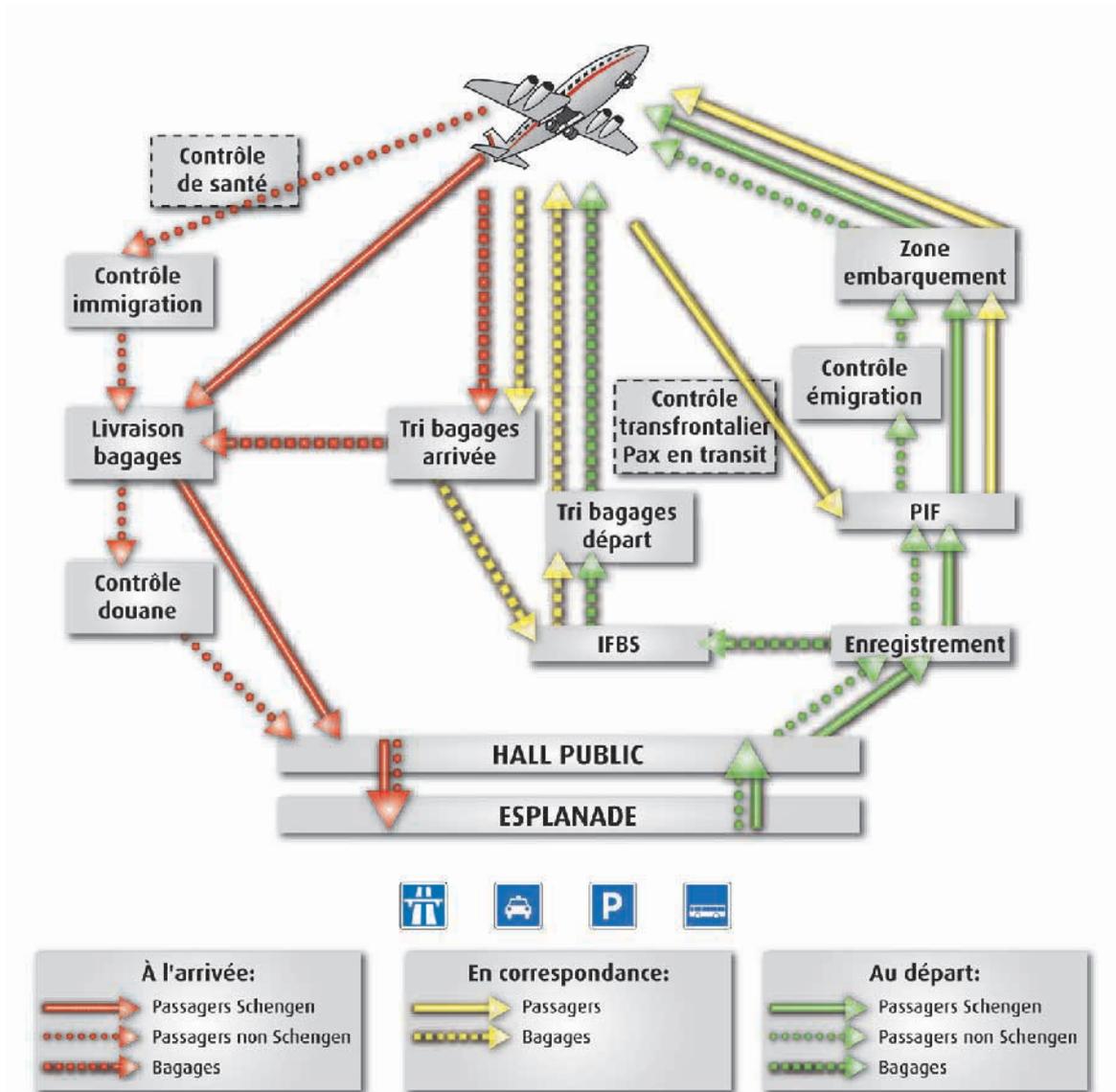
Par ailleurs, certaines formalités au départ ou à l'arrivée sont obligatoires et communes à tous les passagers, d'autres dépendent de la provenance et de la destination : les passagers de la zone Schengen (lignes domestiques ou reliant des pays signataires des accords de Schengen, et passagers en transit national/national ou national/Schengen) ne sont assujettis à aucune formalité administrative de la part des services de l'État, tandis que les passagers qui pénètrent ou quittent le territoire national depuis ou vers un pays non-membre de l'espace Schengen (y compris en transit) sont soumis aux formalités de contrôle transfrontalier par la Police de l'Air et des Frontières et à un éventuel contrôle par les douanes.

En conséquence, pour un passager et ses bagages, il existe un parcours type « régime Schengen » et un parcours type « régime hors Schengen » (appelé aussi régime « international »). La réglementation impose les dispositions suivantes :

- les passagers internationaux au départ, après le contrôle transfrontalier, doivent être séparés des passagers en régime Schengen au départ,
- les passagers internationaux à l'arrivée, avant le contrôle transfrontalier, doivent être séparés des passagers en régime Schengen à l'arrivée,
- les passagers à l'arrivée qui n'ont pas encore passé le contrôle douanier doivent être séparés de la zone publique et notamment de leurs attendants.



Le principe de séparation des flux arrivée/départ et Schengen/hors Schengen dans les différentes zones de l'aérogare est une donnée essentielle à prendre en compte dans l'étude de la capacité d'une aérogare. En dehors des obligations réglementaires, il est généralement recommandé de séparer les flux des passagers à l'arrivée et au départ tout au long de leur cheminement dans l'aérogare pour assurer une meilleure lisibilité et une meilleure fluidité des circuits.



1.3.2.3. Cheminement des passagers et bagages de soute

Le cheminement présenté ici est le plus classique. Certaines aéroports peuvent présenter des variantes dans l'enchaînement des formalités. Quelques exemples :

- le contrôle de sûreté des passagers en correspondance peut être réalisé soit sur des PIF dédiés, soit sur les mêmes PIF que les autres passagers au départ,
- l'inspection-filtrage des bagages de soute (IFBS) peut être réalisée en amont de l'enregistrement (le contrôle de sûreté est réalisé en présence du passager puis le bagage est scellé avant enregistrement),
- le contrôle émigration des passagers au départ peut être réalisé en amont des PIF (cette variante n'a d'intérêt que dans le cas où 100 % du flux est hors Schengen),
- le contrôle émigration des passagers au départ peut être réalisé en aval de la zone embarquement; l'avantage de ce concept est que la zone embarquement est alors un espace commun Schengen/non Schengen, qui peut être dédié aux commerces. Les passagers internationaux subissent le contrôle transfrontalier juste avant de se rendre dans des salles qui leur sont réservées pour attendre leur vol,
- dans certains aéroports, un parvis abrité peut à titre exceptionnel servir d'espace d'attente ou même accueillir des banques d'enregistrement provisoires les jours de pointe.

Une étude de capacité doit nécessairement débiter par l'analyse précise des choix conceptuels dans l'enchaînement des procédures de traitement des passagers et des bagages, en particulier des dispositions prises pour le traitement des correspondances dans le cas des aéroports où ces flux représentent une part importante du trafic.

1.4. Le trafic passager de référence

Pour dimensionner une aérogare, optimiser son fonctionnement ou évaluer les réserves de capacité d'une aérogare, il faut tout d'abord déterminer un trafic passager « de référence ». Concrètement, ce trafic de référence correspond à la situation la plus chargée, en termes d'afflux de passagers, que l'aérogare doit pouvoir traiter dans des conditions satisfaisantes de qualité de service :

- Si la capacité de l'aérogare est inférieure au trafic passager de référence, celle-ci est en situation de saturation chronique,
- Si la capacité de l'aérogare est supérieure au trafic passager de référence, cela traduit une certaine « marge » de capacité (mais ne signifie pas que l'aérogare ne soit pas saturée aux heures les plus chargées de l'année).

Il est évidemment déconseillé de se baser sur le trafic horaire moyen de l'année, qui n'est absolument pas représentatif des périodes de fort trafic. D'un autre côté, le choix d'une situation exceptionnelle comme l'heure de pointe maximale annuelle conduirait à une infrastructure sous-utilisée pendant 8759 heures dans l'année. Plusieurs méthodes sont utilisées pour la détermination du trafic horaire de référence.

1.4.1. Courbe des débits classés

La courbe des débits classés peut servir de point de départ à la recherche d'un trafic passager de référence: cette courbe est obtenue à partir d'un classement par ordre d'importance décroissante, pour chaque trafic étudié, de tous les débits par heure de l'année (il s'agit d'heures pleines comptées comme commençant à l'heure juste et finissant 60 minutes après, par exemple « le 27 avril 2001 de 11h00 à 11h59 »).

Le graphique ci-après représente la courbe des 200 premiers débits classés d'une aérogare (en vert). Cette courbe monotone décroissante est souvent accompagnée de la liste des dates et des moments de la journée où se sont produites ces pointes. Les flux caractéristiques représentés habituellement par cette méthode sont: les arrivées (A), les départs (D), l'ensemble A + D + passagers en correspondance.

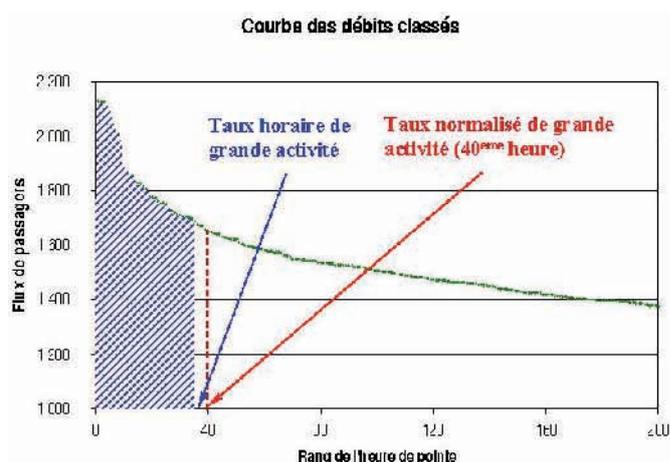
L'expérience montre que les vingt à trente premières heures de débit subissent des variations irrégulières, mais qu'à partir de la 30ème ou de la 40ème heure, leur évolution est régulière.

Note: l'utilisation des **heures glissantes** permet d'affiner la représentation du trafic. En effet, l'heure de pointe la plus chargée ne correspond pas forcément à une période comprise entre deux heures pleines. La saisie de donnée de l'heure exacte de décollage ou d'atterrissage étant faite à une minute près, le trafic peut être détaillé avec un pas de 1 minute, c'est-à-dire 11h00-11h59, 11h01-12h00, 11h02-12h01... toutefois cette méthode nécessite d'analyser 60 fois plus d'heures, soit 525600 heures glissantes au lieu de 8760 heures pleines.

1.4.2. Heure de pointe de référence

Il s'agit ensuite de choisir une heure de pointe de référence correspondant à un trafic « représentatif ». Quelques exemples de choix de trafic horaire de référence :

- En Europe on utilise généralement le taux normalisé de grande activité: la 30ème ou la 40ème heure de pointe sur la courbe des débits classés (en France c'est la 40ème heure qui sert de référence – heure identifiée par les pointillés rouges sur le graphique),
- Le taux horaire de grande activité est parfois utilisé au Royaume-Uni, par exemple fixé à 5 %. C'est la valeur du



débit correspondant à l'heure de pointe de référence telle que 5 % du trafic annuel s'écoule avec un débit élevé (partie hachurée en bleu sur le graphique). Autrement dit, 95 % du trafic annuel sera traité avec une qualité de service égale ou supérieure à celle de référence.

- L'heure de pointe du jour moyen du mois de pointe, est un débit fictif calculé par application d'un pourcentage (environ 9 %) à 1/30ème du trafic passager du mois le plus chargé de l'année. Cette méthode utilisée principalement aux États-Unis et au Canada a l'avantage de ne pas nécessiter la construction de la courbe des débits classés. Il n'existe pas de choix idéal qui donne le meilleur compromis entre économie et qualité de service: ces définitions de l'heure de pointe de référence sont des approximations, plus ou moins adaptées selon le type d'aérogare et la structure du trafic. En pratique, leurs valeurs sont relativement proches.

Remarque: comme les périodes de pointe en arrivée et au départ sont rarement synchronisées, le flux arrivées + départs + transit ($T_A + D + T$) à l'heure de pointe de référence est toujours inférieur à la somme du flux de pointe arrivées (T_A) et du flux de pointe départ (T_D). **Lorsque les vols sont bien répartis dans la journée, on observe un rapport de l'ordre de 60 à 70 % entre la pointe A + D + T et la pointe A ou la pointe D.**

$$T_D \approx 0,65 \cdot T_A + D + T \approx T_A$$

1.4.3. Scénario avions

Une méthode plus précise pour déterminer les flux de passagers de référence est celle des « scénarios avions ». Il s'agit d'imaginer des scénarios vraisemblables du déroulement futur des mouvements d'avions et de passagers. Ce n'est possible que si les prévisions de trafic ont été faites ligne par ligne, avec une bonne précision: ce type d'étude doit donc être réalisé conjointement et en liaison étroite entre l'aéroport et les compagnies aériennes.

Le schéma de principe pour la prévision du trafic en mouvements avions est le suivant:

1. Déterminer les situations critiques de l'aéroport dans son état actuel,
2. Faire des prévisions de développement du trafic des lignes concernées,
3. Déterminer les avions à attendre en fonction de l'évolution du volume de trafic des lignes,
4. Étudier la création éventuelle de nouvelles lignes pouvant engendrer de nouvelles simultanités,
5. => Reconstituer les situations critiques futures avec les nouveaux avions envisagés.

Chaque situation critique future est alors traduite sous la forme d'un véritable programme de vols sur une période représentative. Ce programme, qui décrit les arrivées et départs de vols, doit inclure toutes les informations sur les destinations, horaires, taux de remplissages et module des appareils, etc.

Puis les flux de passagers sont construits à partir de ce programme de vols et de « lois de présentation » des passagers au départ, à l'arrivée et en correspondance. Ce processus est illustré dans la partie V: « méthode microscopique ».

Le cycle hebdomadaire des horaires d'avions rend relativement aisée la recherche de la situation critique d'un aéroport: dans le mois de pointe, toujours connu facilement, la situation critique correspond sur les horaires publiés au plus grand nombre de mouvements simultanés et/ou au plus grand nombre de mouvements d'avions gros porteurs. Cette méthode, pour rester assez proche de l'évaluation de la 40ème heure, doit négliger les phénomènes exceptionnels (touchant, pour les aéroports importants, les 20 premières heures) mais prendre en compte une situation qui peut se reproduire plusieurs fois par mois.

À noter que les besoins sont très sensibles à une variation d'hypothèses, notamment en ce qui concerne les horaires. Le décalage de 30 ou 45 minutes d'un avion peut induire une modification significative des flux de passagers, suivant que cela engendre ou supprime une simultanité de vols. Pour cette raison, il est conseillé d'utiliser la méthode des heures de pointe de référence en complément.

Cette méthode a l'avantage de modéliser finement les flux de passagers au cours du temps, non sur des heures « bloc » mais par pas de quelques minutes. Elle nécessite cependant un volume de données important, la connaissance de nombreux paramètres opérationnels et l'utilisation d'outils de simulation.

Elle est particulièrement adaptée aux aéroports dont le trafic est inférieur à un million de passagers ou aux études de capacité en exploitation.

1.4.4. Flux de passagers dans l'aérogare: définitions

Afin d'éviter les confusions et les erreurs dans l'interprétation des capacités, il est important préalablement à toute analyse de capacité de définir précisément les notions de trafics horaires de référence, un choix s'avérant parfois nécessaire entre différentes définitions possibles.

Par exemple, pour le trafic passager au départ, deux définitions sont possibles: il peut s'agir du nombre de passagers embarquant dans les avions, ou du nombre de passagers se présentant dans l'aérogare (appelés aussi passagers « locaux » au départ). De même pour le trafic passagers à l'arrivée: il peut s'agir du nombre de passagers débarquant des avions, ou du nombre de passagers arrivant à leur destination finale (donc sortant de l'aérogare après avoir récupéré leurs bagages). Dans le cas des aérogares à fort taux de correspondance, il est important de bien différencier ces deux flux, qui ne sont pas identiques.

Le trafic en correspondance est le nombre de passagers débarquant d'un avion pour embarquer dans un autre avion. Certains aéroports ont également des passagers en « transit »: ceux-ci ne débarquent pas, l'avion effectuant une simple escale technique avant de repartir.

La notion de trafic arrivées + départs + correspondances est parfois utilisée: c'est le cumul des passagers se présentant dans l'aérogare, des passagers sortant de l'aérogare et de ceux effectuant une correspondance. Ce trafic a un intérêt économique (il représente le nombre de passagers qui effectuent un séjour dans l'aérogare), mais a peu d'utilité en termes de capacité puisqu'aucune zone de l'aérogare n'accueille simultanément tous ces passagers.

Le trafic arrivées + départs est composé des passagers locaux au départ et des passagers arrivés à destination. Il est représentatif du nombre de passagers qui empruntent l'esplanade et les halls publics.

Dans le présent manuel, les définitions suivantes seront fixées:

trafic passager au départ = nombre de pax se présentant dans l'aérogare

trafic passager à l'arrivée = nombre de pax sortant de l'aérogare après avoir récupéré leurs bagages

trafic en correspondance = nombre de pax débarquant d'un avion pour embarquer dans un autre avion

trafic arrivées + départs = trafic passager au départ + trafic passager à l'arrivée

2 Méthode globale simplifiée

2.1. Principe

Le principe de la méthode globale simplifiée consiste à rechercher une relation directe entre la surface globale de l'aérogare et le nombre de passagers que le bâtiment peut traiter à l'arrivée et au départ, uniquement en fonction de la proportion de trafic national/Schengen et international/hors Schengen.

Deux paramètres seulement sont utilisés : la surface globale et la proportion de trafic national/Schengen et international. Les autres facteurs de premier ordre liés à la structure du trafic passager, aux caractéristiques techniques et opérationnelles des aérogares ne sont pas pris en compte dans l'application de cette méthodologie.

La relation entre la surface globale et la capacité est construite sur la base de ratios issus de l'expérience de gestionnaires, de concepteurs et de spécialistes à partir de valeurs observées dans les grands aéroports (benchmark). Il est recommandé d'affiner cette méthode en réduisant les fourchettes d'incertitude grâce à une analyse comparative : il s'agit alors de repérer, dans un benchmark, d'autres aérogares dont la capacité est connue et dont les caractéristiques de trafic et d'exploitation sont voisines du cas que l'on étudie, et d'adapter les ratios globaux en référence à ces aérogares.



2.2. Champ d'application

Cette méthode rudimentaire, rapide à mettre en œuvre, permet d'évaluer des ordres de grandeur utilisables en planification sur des aérogares « classiques » à très long terme, pour comparer des aérogares entre elles, ou encore pour des études de faisabilité (évaluation d'une emprise de terrain à réserver, estimation économique) mais ne peut être appliquée au dimensionnement, même sommaire, d'un terminal.

C'est la seule méthode présentée ici qui permette d'obtenir un ordre de grandeur de la capacité annuelle sans nécessairement passer par le calcul de la capacité horaire.

Elle n'est valable que pour les aérogares accueillant un trafic supérieur à 1 million de passager annuel et plutôt régulier (le trafic charter et low-cost doit être inférieur à 25 % du trafic total).

2.2.1. Hypothèses

Hypothèse n° 1 : La surface considérée est la surface utile globale de chaque terminal. C'est l'espace potentiellement dédié au traitement du passager, mais aussi aux fonctions connexes : administrative, technique, commerciale, opérationnelle.

Hypothèse n° 2 : Pour les aéroports multi-terminaux, les terminaux passagers ne doivent pas être pris en compte séparément : le traitement des passagers doit être considéré dans sa globalité.

Hypothèse n° 3 : Les passagers internationaux, qu'ils voyagent en vol « charter » ou sur un vol régulier, bénéficient du même niveau de service.

2.2.2. Limites

Il est important de noter dès maintenant les limites de cette méthode :

- Elle ne tient pas compte du circuit spécifique des passagers en correspondance, qui sont comptabilisés à la fois comme passagers à l'arrivée et au départ (donc beaucoup plus consommateurs d'espace qu'en réalité) : la capacité des aérogares à fort taux de correspondance est donc sous-estimée,
- Elle néglige l'aspect temporel (temps de traitement, temps d'attente) pour se concentrer sur un aspect exclusivement « spatial »,
- Elle est peu fiable en ce qui concerne les terminaux flexibles dans lesquels des compagnies aériennes peuvent être déplacées.

2.3. Calcul

2.3.1. Paramètres

Su	Surface utile globale de l'aérogare, tous terminaux confondus, dédiée à toutes les fonctions (passager, administrative, technique, commerciale, opérationnelle)	m ²
% int % nat	Proportion de passagers de régime international et de régime national/Schengen le trafic passagers. % int = 100 % - % nat	%

Pour la capacité horaire :

D_{nat}	Allocation d'espace dynamique pour un passager national/Schengen. C'est l'espace nécessaire au traitement d'un passager pendant une heure.	m ² /pax. h
D_{int}	Allocation d'espace dynamique pour un passager international. C'est l'espace nécessaire au traitement d'un passager pendant une heure.	m ² /pax. h

Pour la capacité annuelle :

S_{nat}	Allocation d'espace statique par millions de passagers de régime national/Schengen. C'est l'espace permettant de traiter un million de passagers de ce régime en 1 an.	m ² /Mpax. an
S_{int}	Allocation d'espace dynamique pour un passager international. C'est l'espace nécessaire au traitement d'un passager pendant une heure.	m ² /Mpax. an

- Su est déterminé à partir du pré-dimensionnement de l'aérogare
- % nat et % int sont déterminés à partir des statistiques ou hypothèses de trafic
- D_{int}, D_{nat}, S_{int} et S_{nat} sont des ratios issus de l'expérience de gestionnaires, de concepteurs et de spécialistes à partir de comparaisons et de valeurs observées dans les grands aéroports.

Remarque :

Les passagers sur des vols internationaux sont globalement plus consommateurs de surfaces : ils ont généralement plus de bagages et utilisent des chariots en forte proportion, se présentent plus longtemps à l'avance à l'enregistrement au départ, et subissent plus de formalités au départ comme à l'arrivée, ce qui augmente le temps passé dans l'aérogare. Les ratios d'allocation d'espace pour les passagers internationaux sont donc toujours supérieurs aux ratios pour les passagers nationaux/Schengen.

2.3.2. Formule

$$\text{Formule de détermination de la capacité horaire: } C_p = \frac{Su}{\% \text{ nat} \cdot D_{nat} + \% \text{ int} \cdot D_{int}}$$

$$\text{Formule de détermination de la capacité annuelle: } C = \frac{Su}{\% \text{ nat} \cdot S_{nat} + \% \text{ int} \cdot S_{int}}$$

Note: il s'agit de la capacité exprimée en trafic passagers arrivées + départs par heure ou par an.

2.3.3. Ratios

Référence	Ratios globaux d'évaluation de la capacité horaire
<i>Methodology for the assessment of airport capacity, UE, 1993</i> <i>capacity, UE, 1993</i>	$A_{int} \approx 20 \text{ m}^2/\text{pax.h}$ $A_{nat} \approx 12 \text{ m}^2/\text{pax.h}$
<i>Airport engineering, 3rd edition</i> <i>Ashford & Wright, 1989</i>	$A_{int} \approx 24 \text{ m}^2/\text{pax.h} + 20 \%$ si séparation totale $A_{nat} \approx 14 \text{ m}^2/\text{pax.h}$ des flux départs et arrivées
<i>ITAC, fascicule 6 - Installations, bâtiments</i> <i>SBA, 1984</i>	$A_{int} \approx 12 \text{ à } 25 \text{ m}^2/\text{pax.h}$ $A_{nat} \approx 6 \text{ à } 15 \text{ m}^2/\text{pax.h}$
Ratios moyens recommandés pour le calcul de l'ordre de grandeur des capacités horaires	$A_{int} \approx 23 \text{ m}^2/\text{pax.h}$ $A_{nat} \approx 12 \text{ m}^2/\text{pax.h}$

Référence	Ratios globaux d'évaluation de la capacité annuelle
<i>Ratios utilisés par ADP</i> <i>2000</i>	$S_{int} \approx 10\,000 \text{ à } 12\,000 \text{ m}^2/\text{Mpax.an}$ $S_{nat} \approx \text{entre } 8\,000 \text{ et } 10\,000 \text{ m}^2/\text{Mpax.an}$
<i>Les aéroports pax - éléments de conception et de dimensionnement, STBA, 1983</i>	$S_{int} \approx S_{nat}^a \text{ entre } 10\,000 \text{ et } 15\,000 \text{ m}^2/\text{Mpax.an}$
Ratios moyens recommandés pour le calcul de l'ordre de grandeur des capacités annuelles	$A_{int} \approx 11\,000 \text{ m}^2/\text{Mpax.an}$ $A_{nat} \approx 9\,000 \text{ m}^2/\text{Mpax.an}$

2.3.4. Exemples

Aérogare d'une surface utile globale de $10\,000 \text{ m}^2$

$i_{int} = 30 \%$

donc $\%_{nat} = 70 \%$

Capacités (en pax arrivées + départs):

$C_p \approx 10\,000 / (0,7 \times 12 + 0,3 \times 23) = 653 \text{ pax/h}$

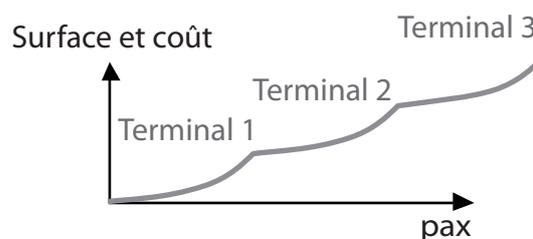
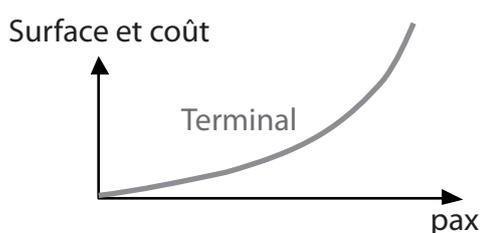
$C \approx 10\,000 / (0,7 \times 9\,000 + 0,3 \times 11\,000) = 1,04 \text{ Mpax/an}$

2.4. Commentaires

2.4.1. (Dés) économies d'échelle

L'expérience montre que généralement, la surface globale d'un terminal augmente de façon exponentielle en fonction du flux de passagers qu'il peut traiter.

Les figures ci-après illustrent ce phénomène et l'intérêt qu'il peut y avoir, d'un point de vue strictement technique (sans considérer les problématiques commerciales), à concevoir plusieurs terminaux séparés plutôt qu'un seul à partir de certains niveaux de trafic.



2.4.2. Facteurs modifiant les ratios globaux

Sur des aéroports particulières en termes de concept (très grands terminaux, aéroports « simplifiés » dédiés aux compagnies à bas coûts), de nombreux facteurs entraînent des modifications des ratios globaux d'allocation d'espace dynamique (ratio en m^2/pax à l'heure de pointe de référence), par exemple :

Facteurs d'augmentations de surface :

- Système de tri bagage complexe (enregistrement décentralisé)
- Système de transport rapide de passagers
- Pôle intermodal
- Circulation multi niveaux
- Zones commerciales améliorées

Ordres de grandeur :

- + 20 $\text{m}^2/\text{pax.h}$
- + 5 $\text{m}^2/\text{pax.h}$
- + 5 à 10 $\text{m}^2/\text{pax.h}$
- + 5 à 8 $\text{m}^2/\text{pax.h}$
- +1 à 3 $\text{m}^2/\text{pax.h}$

Facteurs de diminution de surface :

- Absence de jetées d'embarquement et de service associé
- Absence d'infrastructures de transfert de passagers
- Absence de salle de tri bagages
- Surfaces de la fonction administrative diminuées
- Concept sur un seul niveau

Ordres de grandeur :

- 20 $\text{m}^2/\text{pax.h}$
- 5 $\text{m}^2/\text{pax.h}$
- 4 $\text{m}^2/\text{pax.h}$
- 2 à 3 $\text{m}^2/\text{pax.h}$
- 2 à 3 $\text{m}^2/\text{pax.h}$

Note : les augmentations ou diminutions de surface citées en exemple sont des ordres de grandeur mentionnés à titre indicatif, il est préférable de procéder par analogie avec des aéroports comparables.

3 Méthode macroscopique

3.1. Principe et champ d'application

Il s'agit d'une application successive de ratios et de formules aux surfaces d'attente et aux équipements de traitement des passagers afin de calculer la capacité de chaque module de la fonction trafic, puis la capacité globale de l'aéroport.

Cette méthode est plus précise que la précédente: centrée sur la fonction trafic, elle consiste à raisonner sur les flux de passagers traités individuellement par chaque module. Elle permet une évaluation rapide de la capacité d'un aéroport en requérant un minimum de moyens, mais au besoin il est possible de l'affiner en améliorant la modélisation et en augmentant le nombre de facteurs pris en compte.

Il est possible de pré-dimensionner une nouvelle aéroport ou une extension d'aéroport sur la base de cette méthode, mais il est recommandé de la valider par des simulations ou des analyses comparatives. La méthode macroscopique trouve en effet ses limites dans la mesure où elle ne prend pas en compte la gestion dynamique des passagers ni les interactions entre certains modules et les flux de passagers (formation et résorption des files d'attente, écoulement des flux, etc.).

3.2. Paramètres

3.2.1. Qualité de service

3.2.1.1. Échelle de niveau de service

La qualité de service est transcrite par l'IATA (International Air Transport Association) sous la forme d'une échelle de valeurs en 6 niveaux, de A à F:

Niveau A	Excellent niveau de service, conditions de flux libres, pas de temps d'attente, excellent niveau de confort.
Niveau B	Haut niveau de service, conditions de flux stables, très peu de temps d'attente, haut niveau de confort.
Niveau C	Bon niveau de service, conditions de flux stables, temps d'attente acceptables, bon niveau de confort.
Niveau D	Niveau de service convenable, conditions de flux instables, retards acceptables pour de petites périodes, niveau de confort convenable.
Niveau E	Niveau de service insuffisant, conditions de flux instables, retards inacceptables, niveau de confort insuffisant.
Niveau F	Niveau de service inacceptable, condition de croisement de flux, rupture du système, retards insupportables, niveau de confort insupportable.

La **capacité en exploitation normale** est généralement évaluée par rapport à un **niveau de service C**, considéré comme un bon compromis entre la qualité de service et le coût.

En conditions dégradées, le **niveau E** peut correspondre à une notion de **capacité « critique »**. Lorsque la qualité de service atteint de tels niveaux, un paramètre de durée maximale admissible doit être ajouté. Par exemple, un taux d'occupation de 90 % dans une salle d'embarquement pourra être admis peu avant l'embarquement pour une durée de 10 ou 15 minutes, mais difficilement pour une attente prolongée.

En dessous du **niveau F**, il y a « **rupture du système** ». En termes d'espace disponible par passager, la zone peut même présenter des problèmes de sécurité, pour une évacuation en cas d'incendie par exemple.

3.2.1.2. Ratios d'allocation d'espace

Un premier indicateur de la qualité de service est l'espace disponible par passager dans les zones d'attente et de circulation, traduit sur l'échelle des niveaux de service par des « ratios d'allocation d'espace » exprimés en m² par passager. Plus le ratio augmente, plus le passager se sent à l'aise et peut se déplacer librement, plus le niveau de service

est haut. Ces ratios sont inspirés des théories de mouvements de piétons (Fruin, 1971) adaptées au contexte aéroportuaire. Bien entendu, ils varient considérablement selon l'usage des différentes zones de l'aérogare :

- un passager équipé d'un chariot à bagages occupe plus d'espace que sans chariot,
- un passager en mouvement a besoin de plus d'espace qu'un passager immobile,
- des ratios faibles sont plus acceptables sur une courte durée que dans des espaces où le passager séjourne longtemps,
- les passagers low-cost, charter, réguliers ou à haute contribution n'ont pas les mêmes attentes (ni la même « acceptabilité ») en matière de qualité de service.

Ils peuvent différer selon la zone géographique, le type de population, etc. Néanmoins des standards internationaux ont été établis pour les aérogares : le tableau suivant présente les ratios recommandés par l'IATA pour chaque module de traitement du passager en fonction de la qualité de service :

Module		m ² /pax				
		A	B	C	D	E
Zone publique	Halls départ, arrivée ou mixtes.	2,7	2,3	2	1,7	1,3
Attente à l'enregistrement	vol régulier national, peu de chariots à bagages, moins de 1 bagage de soute par passager	1,7	1,4	1,2	1,1	0,9
	vol avec peu de chariots à bagages, 1 à 2 bagages de soute en moyenne par passager	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1
	pourcentage important de passagers utilisant des chariots, 1 à 2 bagages de soute/pax	2,3	1,9	1,7	1,6	1,5
	vol tourisme long courrier, plus de 2 bagages de soute/pax et utilisation importante de chariots	2,6	2,3	2,0	1,9	1,8
Attente aux filtres	Files d'attente aux postes inspection filtrage (sûreté) et contrôles émigration/immigration	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6
Salle de livraison bagages	Attente dans la salle de livraison des bagages de soute (avec taux d'utilisation de chariots de 40 %)	2,6	2,0	1,7	1,3	1,0

Note: le ratio est ici exprimé en m² par passager ou accompagnant

3.2.1.3. Temps d'attente

Le mode d'occupation d'un espace d'attente varie considérablement en fonction du temps passé par les passagers dans cet espace : le temps d'attente aux différents modules est un facteur clé de la qualité de service et un paramètre essentiel dans le dimensionnement et l'étude de la capacité d'une aérogare.

Il est extrêmement difficile d'établir une relation précise entre le temps d'attente, le niveau de service et l'espace disponible par passager. Une façon simplifiée d'aborder le problème consiste à fixer des temps d'attente maximums acceptables. Le tableau suivant présente les temps d'attente maximums, en minutes, recommandés par l'IATA pour chaque module de traitement en fonction de la qualité de service :

Module	A	B	C	D	E
	Court à acceptable			Acceptable à long	
Enregistrement passagers classe « économique »	0 - 12			12 - 30	
Enregistrement passagers haute contribution	0 - 3			3 - 5	
Inspection-filtrage	0 - 3			3 - 7	
Contrôle émigration	0 - 5			5 - 10	
Contrôle immigration	0 - 7			7 - 15	
Récupération des bagages	0 - 12			12 - 18	

Ces temps d'attente maximums acceptables sont à adapter selon le contexte, les objectifs de qualité de service de l'aéroport et la typologie du trafic (un passager haute contribution voyageant pour affaires étant moins tolérant aux retards qu'un passager de vol charter tourisme). La plupart des exploitants d'aéroports s'accordent sur le fait que pour un passager régulier un temps d'attente à un filtre est inacceptable dès qu'il dépasse 20 minutes.

3.2.2. Paramètres liés au trafic

La structure du trafic est déterminante pour l'étude de la capacité d'une aérogare existante ou pour le dimensionnement d'une nouvelle aérogare, dans la mesure où les formalités à accomplir, les comportements, le niveau de qualité de service acceptable peuvent différer selon les passagers.

3.2.2.1. Analyse des paramètres liés au trafic

L'origine et la destination, ainsi que la répartition arrivée – départ – correspondance, déterminent le trajet du passager dans l'aérogare et les formalités qu'il doit accomplir selon qu'il correspond au régime Schengen ou hors Schengen (dit « international »). Par ailleurs, certaines destinations « sensibles » peuvent nécessiter la mise en place de procédures particulières: contrôles renforcés plus longs, contrôles de santé, etc.

Généralement les vols sont segmentés par type de compagnie opérant: compagnies régulières traditionnelles, compagnies à bas coûts, vols charter. Ce facteur a notamment des répercussions sur les profils de présentation des passagers au départ, le nombre de bagages par passager et le niveau de service acceptable (les passagers charter ou à bas coûts peuvent tolérer plus facilement une qualité de service dégradée).

D'autres caractéristiques permettent de construire des profils type de comportement: contribution (haute ou basse), motif du voyage (affaires, affinitaire, tourisme), groupes (tour-opérateur), etc. Cela se traduit, par exemple, sur le nombre de bagages de soute par passager, le nombre d'accompagnants par passager, l'heure d'arrivée, le temps de traitement aux points de passage, etc. ainsi que le niveau de service acceptable.

3.2.2.2. Paramètres utilisés dans la méthode macroscopique

Paramètres de base indispensables pour l'évaluation de la capacité:

- nombre moyen d'accompagnants par passager au départ,
- nombre moyen d'attendants par passager à l'arrivée.

Paramètres optionnels:

- nombre moyen de bagages de soute par passager au départ et à l'arrivée,
- nombre moyen de personnels navigants pour 100 pax au départ,
- nombre moyen de visiteurs non liés aux passagers pour 100 pax au départ,
- taux d'utilisation des chariots à bagages,
- taux d'utilisation des bornes d'enregistrement libre service (BLS),
- taux de passagers haute contribution, etc.

3.2.3. Paramètres structurels

Les caractéristiques structurelles sont les facteurs liés à la conception du bâtiment, les partis pris architecturaux et l'aménagement des différents modules de traitement: surfaces d'attente, espaces de circulation, équipements (nombre, positionnement et agencement), etc.

3.2.3.1. Zonage et mesure des surfaces

Le calcul de la capacité horaire nécessite une mesure de la surface des différentes zones de traitement du passager. Le cas des halls publics, par exemple, est complexe: aux heures de pointe, des files d'attente se forment face aux banques d'enregistrement et aux postes inspection filtrage, ce qui génère des conflits entre zones d'attente et circulations transversales dans l'aérogare. Il faut donc définir les règles d'attribution des surfaces aux différentes zones (le « zonage ») qui ne sont pas toujours séparées matériellement.



La fonction commerciale peut avoir un impact important sur les surfaces utiles de la fonction trafic: on considère qu'elle neutralise une bande de 1 m de profondeur face aux comptoirs commerciaux, mais a contrario, les commerces en zone publique ou réservée offrent parfois une réserve de capacité dans les espaces d'attente (cas des restaurants/bars) que l'on peut choisir de comptabiliser.

3.2.3.2. Paramètres structurels utilisés dans la méthode macroscopique

Paramètres de base indispensables pour l'évaluation de la capacité en passagers:

- surfaces de chaque zone d'attente ou de circulation accessible aux passagers,
- largeurs des espaces de circulation,
- nombre de banques d'enregistrement,
- nombre de postes inspection filtrage,
- nombre d'aubettes PAF émigration,
- nombre d'aubettes PAF immigration,
- nombre et linéaire de tapis de livraison bagages,

Paramètres de base pour l'évaluation de la capacité du traitement des bagages de soute:

- nombre et type d'appareils de détection d'explosifs (EDS) pour les bagages de soute,
- nombre, linéaire et type de dispositifs de tri et de convoyage des bagages.

Paramètres optionnels:

- nombre de banques d'enregistrement spéciales: borne d'enregistrement libre service (BLS), banques haute contribution/économiques, banques d'enregistrement hors format, etc.

Précision: Dans le cas où certaines surfaces d'attente ne seraient pas matérialisées, il pourra être nécessaire pour effectuer le zonage de connaître les dimensions des équipements mentionnés ci-dessus.

3.2.4. Paramètres d'exploitation

La capacité dépend du flux traité et des ressources disponibles, mais aussi de la façon dont ces ressources sont utilisées, l'objectif étant toujours d'optimiser les surfaces d'attente, les équipements et le personnel mobilisés pour minimiser les coûts tout en maintenant une qualité de service et une souplesse d'exploitation suffisantes.

3.2.4.1. Analyse des paramètres d'exploitation

Dans un premier temps, les procédures de traitement, c'est-à-dire l'enchaînement des formalités, doivent être définies pour chaque type de passager et de bagage à l'arrivée, au départ et en correspondance.



Ces procédures sont intrinsèquement liées aux caractéristiques structurelles comme le positionnement des modules de traitement du passager ou le circuit des passagers en correspondance. Certaines procédures réglementaires exceptionnelles (ex: procédures d'urgence, plan Vigipirate, vols sensibles) peuvent avoir une influence sur la capacité d'une aéroport.

Le paramètre « temps » dans l'évaluation de la capacité d'une aéroport intervient essentiellement sous deux formes:

- les temps de traitement aux différents processeurs (banque d'enregistrement, inspection filtrage, contrôle transfrontalier), lié à des facteurs humains, techniques et réglementaires,
- les temps de présence des passagers ou de leurs accompagnants dans chaque zone de l'aéroport. Ces « temps d'occupation » sont très variables et dépendent de nombreux facteurs comportementaux et des contraintes d'exploitation.

Remarque: les points de contrôle successifs peuvent avoir un effet « régulateur » dont l'influence n'est pas neutre. Par exemple :

- au départ, un filtre émigration positionné immédiatement après un PIF de débit inférieur limite la formation de files d'attente entre les deux modules (les passagers sont traités en « flux tendu »),
- la pratique de plus en plus courante du préfiltrage (contrôle des billets) avant l'enregistrement permet non seulement de vérifier que seuls les passagers accèdent à la zone d'attente, mais aussi d'éviter la surcharge de cette zone (et donc de maintenir dans la file un espace disponible par passager compatible avec le niveau de service souhaité).

Enfin, le mode d'utilisation de certaines ressources est un paramètre important pour la détermination de la capacité en situation d'exploitation. Ainsi, par exemple, l'allocation des portes d'embarquement (sectorisation, usage préférentiel ou exclusif par compagnie, poste de stationnement au contact ou éloigné, disponibilité des passerelles, etc.) peut être un facteur limitant la capacité même si leur nombre est théoriquement suffisant.

Un principe est souvent recherché par les gestionnaires et les compagnies pour optimiser l'utilisation des ressources et des espaces: la mutualisation (ou banalisation). Utiliser un ensemble de banques d'enregistrement banalisées pour plusieurs vols au lieu d'affecter les banques à un vol particulier permet d'avoir une file d'attente unique, ce qui évite que certaines banques soient vides pendant que d'autres sont surchargées. De même, il est souvent intéressant pour un gestionnaire de regrouper les postes d'inspection filtrage (PIF « centralisés »), ce qui présente un intérêt supplémentaire en termes de sûreté avec un point d'entrée unique en zone réservée.

Les salles d'embarquement et de livraison des bagages représentent des surfaces importantes: mettre en place des salles d'attente communes à plusieurs vols permet de gagner en souplesse d'utilisation et de diminuer la surface nécessaire (à qualité de service égale), en raison de l'enchaînement temporel des vols. Pour les salles d'embarquement, les solutions d'aménagement doivent néanmoins respecter le principe de séparation des passagers Schengen et non Schengen au départ. Pour les salles de livraison bagages, il est possible d'utiliser les salles en simultané pour des vols Schengen et non Schengen, mais cela nécessite l'accord des services de douanes.

La banalisation des équipements présente néanmoins des désavantages:

- la centralisation des points de passage ne doit pas se faire au détriment des circulations (elle peut compliquer et allonger les trajets des passagers dans l'aérogare),
- elle a pour effet d'harmoniser la qualité de service pour tous les passagers, qui se trouvent mêlés en un flux unique quelle que soit leur contribution financière, ce qui défavorise certaines compagnies.

3.2.4.2. Paramètres d'exploitations utilisés dans la méthode macroscopique

Paramètres liés au mode d'utilisation des ressources:

- spécialisation Schengen/non Schengen des banques d'enregistrement,
- spécialisation Schengen/non Schengen des PIF,
- spécialisation Schengen/non Schengen des salles d'embarquement,
- spécialisation Schengen/non Schengen des salles de livraison bagages.

Les paramètres d'exploitation de base utilisés pour l'évaluation de la capacité sont les temps de traitement et les temps d'occupation des passagers dans les différentes zones. Ces paramètres doivent idéalement être déterminés par enquête et observation sur le terrain.

Au départ:

- temps d'occupation moyen du hall public départ par les passagers et par leurs accompagnants,
- temps de traitement moyen par passager à l'enregistrement,
- temps de traitement moyen par passager aux PIF,
- temps de traitement moyen par passager aux filtres émigration,
- temps d'occupation moyen de la salle d'embarquement,
- temps de traitement moyen pour l'inspection-filtrage des bagages de soute
- temps de traitement moyen pour le tri et le chargement des bagages de soute au départ.

À l'arrivée:

- temps de traitement moyen par passager aux filtres immigration,
- temps moyen d'occupation de la salle de livraison des bagages,
- temps moyen d'occupation du hall public arrivée par les passagers et par leurs attendants,
- temps de traitement moyen des bagages de soute à l'arrivée (déchargement, tri, livraison).

Optionnel:

- déclinaison des temps de traitement et d'occupation moyens par type de passager,

Paramètres complémentaires optionnels:

- temps de traitement moyens aux filtres spécifiques pour les passagers et bagages en correspondance,
- temps moyens d'occupation des éventuelles zones réservées aux passagers en correspondance,
- temps de traitement moyens pour les enregistrements par BLS,
- temps de traitement moyens pour les contrôles de santé,
- temps de traitement moyens pour les contrôles douaniers et proportion de passagers contrôlés.

3.3. Détermination de la capacité des différents modules

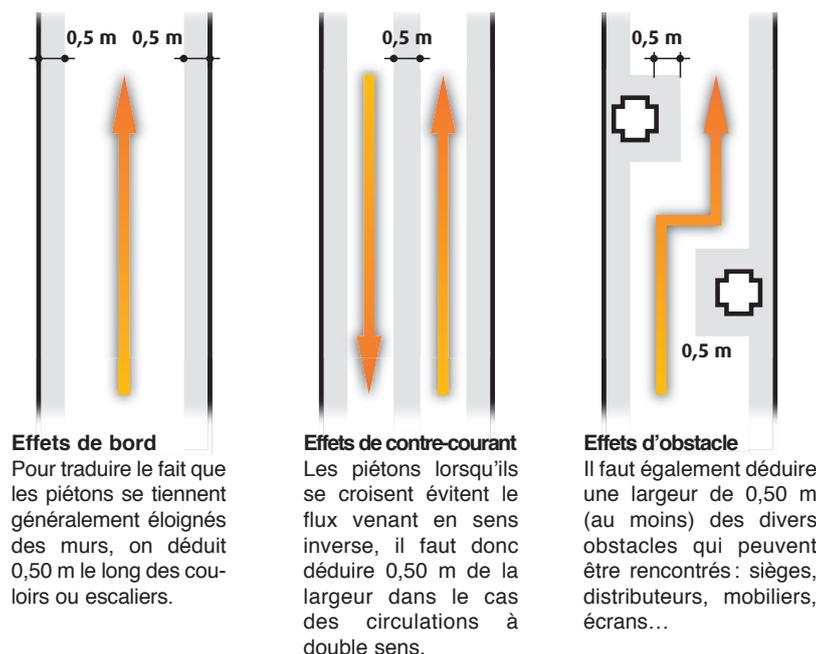
3.3.1. Les circulations

Les espaces de circulation dans une aérogare sont nombreux et rarement problématiques en termes de capacité: un diagnostic basé sur l'observation de l'écoulement des flux aux heures de pointe permettra, préalablement à tout calcul, d'identifier d'éventuels « points durs ».

La capacité des espaces de circulation dépend essentiellement de trois paramètres: leurs dimensions (paramètre structurel), la vitesse de circulation des passagers (paramètre lié au trafic) et l'allocation d'espace par passager (qualité de service).

3.3.1.1. Largeur effective

Pour les espaces de circulation, couloirs ou escaliers, on introduit la notion de largeur effective. L'observation du comportement des piétons montre qu'en pratique, ils n'utilisent pas tout l'espace qui leur est offert pour circuler. Il faut déduire certaines surfaces des espaces de circulation.



Effets de bord

Pour traduire le fait que les piétons se tiennent généralement éloignés des murs, on déduit 0,50 m le long des couloirs ou escaliers.

Effets de contre-courant

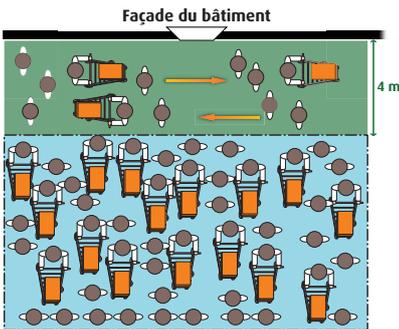
Les piétons lorsqu'ils se croisent évitent le flux venant en sens inverse, il faut donc déduire 0,50 m de la largeur dans le cas des circulations à double sens.

Effets d'obstacle

Il faut également déduire une largeur de 0,50 m (au moins) des divers obstacles qui peuvent être rencontrés: sièges, distributeurs, mobiliers, écrans...

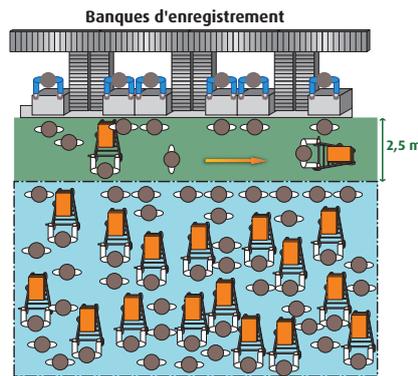
3.3.1.2. Zonage

Dans certaines zones de l'aérogare, les espaces de circulation ne sont pas toujours matérialisés. Les figures suivantes présentent quelques exemples de recommandations applicables en l'absence d'informations sur le fonctionnement de l'aérogare étudiée (à adapter selon la typologie du trafic).



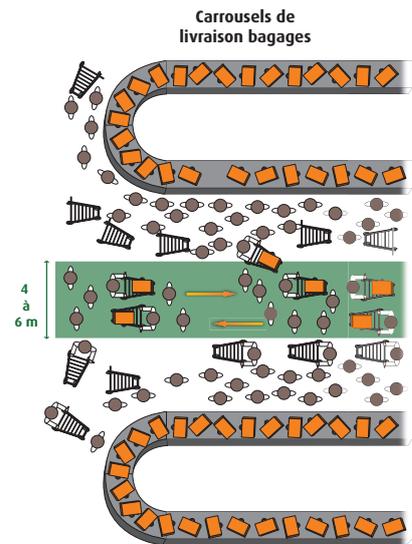
Circulations transversales

Dans les configurations frontales (front des banques d'enregistrement parallèle à la façade du bâtiment), on compte une largeur de 4 m pour les circulations bidirectionnelles et les débordements de files d'attente.



Zone enregistrement

Un espace de 2,5 m est réservé face aux banques pour le traitement des passagers à l'enregistrement et leur sortie (circulation mono directionnelle).



Livraisons des bagages

On compte 4 à 6 m pour la circulation bidirectionnelle entre tapis (en plus de la largeur, d'environ 3,5 m réservée pour l'attente et la récupération).

3.3.1.3. Ratio d'allocation d'espace dynamique

La vitesse moyenne de déplacement des passagers et l'espace qu'ils occupent sont traduits par un paramètre unique, exprimé en passagers par mètre par minute.

Le tableau suivant présente les ratios d'allocation d'espace dynamique (en passagers/mètre/minute), PMM, recommandés par l'IATA en l'absence de données issues de l'observation.

	PMM (PAX/m/min)					F
	A	B	C	D	E	
Couloir	10	12,5	20	28	37	
Escalier	8	10	12,5	20	20	
Tapis roulant, escalator, ascenseur	Débits fournis par les constructeurs					

Note: dans une zone où le nombre de chariots est important et où la vitesse moyenne des passagers est inférieur à 1 m/s, ces ratios doivent être diminués.

3.3.1.4. Formule d'évaluation de la capacité d'un couloir ou d'un escalier

$$C_{\text{circ}} = L \times \text{PMM} \times 60$$

L = largeur effective de la circulation

PMM = ratio d'allocation d'espace dynamique

3.3.1.5. Remarques

Les capacités des couloirs sont extrêmement importantes. Généralement surdimensionnés par les concepteurs, les espaces purement dédiés à la circulation sont rarement critiques en termes de capacité et représentent souvent un « gaspillage » de surface. Cependant, des espaces de circulation dimensionnés au plus juste seraient probablement ressentis comme très oppressants.



Exemple

Couloir mono-directionnel de 3 m de large en zone réservée (pas de chariots)

$$L = 3 - 0,5 - 0,5 = 2 \text{ m}$$

$$\text{PMM} = 20 \text{ pax/m/min}$$

$$C_{\text{circ}} = 2 \times 20 \times 60 \\ = 2400 \text{ pax/h}$$

Les circulations verticales (escalators, escaliers), en revanche, peuvent présenter des « points durs » et être insuffisants pour écouler un flux massif de passagers sur un temps réduit.

Les méthodes par simulation sont plus adaptées pour appréhender de tels phénomènes sur de très courtes durées.

3.3.2. Hall public départ

3.3.2.1. Description et flux traité

Les halls publics de l'aéroport ont un caractère de convivialité non nécessaire au traitement du passager stricto sensu : la surface du hall public départ est principalement utilisée comme zone commerciale et de circulation, le reste de l'espace étant dévolu à l'attente à l'enregistrement et aux points de contrôle.

Il n'est pas toujours indispensable d'étudier la capacité des halls publics départ, dans le sens où les passagers s'orientent presque immédiatement vers l'enregistrement. Mais la configuration de certains halls occasionne parfois des perturbations de circulations, donc une dégradation de la qualité de service.

La partie « départs » du hall public doit accueillir un flux de passagers locaux au départ (hors correspondances) avant enregistrement transportant leurs bagages de soute, un flux de passagers locaux au départ après enregistrement sans bagages de soute, et le flux des accompagnants.



3.3.2.2. Zonage

La première étape de l'application de la méthode macroscopique consiste à réaliser le zonage du hall public départ. Pour obtenir la surface effective, il faut déduire de la surface brute du hall :

- les surfaces d'attente devant les divers comptoirs (compagnies aériennes, information, loueurs de voiture et autres): minimum 1 m le long des comptoirs,
- les surfaces d'attente devant les banques d'enregistrement et les postes d'inspection filtrage: lorsque celles-ci ne sont pas matérialisées; les méthodes d'attribution de ces surfaces d'attente sont détaillées dans les parties ci-après traitant de ces modules.

3.3.2.3. Ratios d'allocation d'espace

Le tableau suivant présente les ratios d'allocation d'espace par passager ou accompagnant recommandés dans les halls publics départ en fonction du niveau de service visé. On peut considérer qu'il y a rupture du système (niveau F) en dessous de 1 m² par personne.

Niveau de service	A	B	C	D	E
Allocation d'espace (m ² /pax ou accompagnant)	2,7	2,3	2,0	1,7	1,3

Ces ratios peuvent être modulés en fonction de la proportion de chariots à bagages: si la proportion de passagers utilisant un chariot à bagage est supérieure à la normale, le niveau de service est décalé d'une colonne (par exemple, si le nombre de chariots est particulièrement élevé, le niveau de service C correspond à 2,3 m²/pax et le niveau B à 2,7 m²/pax).

3.3.2.4. Formule d'évaluation de la capacité des halls départs (en passagers/h):

$$Cd_{\text{hall départ}} = \frac{S}{R} \times \left(\frac{60}{T_{\text{occ. pax}} + ACC \times T_{\text{occ. acc}}} \right)$$

S = surface effective des halls publics départs

R = ratio d'allocation d'espace

ACC = nombre moyen d'accompagnants par pax au départ

T_{occ.pax} = temps d'occupation moyen des halls public départ par les passagers en minutes.

T_{occ.acc} = temps d'occupation moyen des halls public départ par les accompagnants en minutes.

Exemple

S = 650 m²

R = 2,0 (niveau C)

ACC = 0,4 acc/pax

T_{occ.pax} = T_{occ.acc} = 15 minutes

$$Cd_{\text{hall départ}} = (650/2) \times 60 / (15 + 0,4 \times 15) = 929 \text{ pax/h}$$



3.3.3. Banques d'enregistrement

3.3.3.1. Description et flux traité

Le module « enregistrement » est en fait constitué de deux maillons : les espaces d'attente et les banques d'enregistrement. Les banques d'enregistrement traitent le flux des passagers locaux au départ (hors correspondances) transportant leurs bagages de soute avec ou sans chariot, et le transforment en flux de passagers locaux au départ sans bagages de soute, prêts à se présenter à l'inspection-filtrage et, le cas échéant, au contrôle émigration.

La présentation des passagers au départ joue un rôle important : si les passagers se présentent majoritairement peu de temps avant l'heure limite d'enregistrement, le nombre d'équipements à mettre en œuvre pour maintenir la qualité de service augmente.

3.3.3.2. Formule d'évaluation de la capacité des banques d'enregistrement en passagers/h

$$Cd_{banques} = N_{bq} \times \frac{3600}{T_{bq}}$$

N_{bq} = nombre de banques d'enregistrement

T_{bq} = temps moyen de traitement par passager en secondes aux banques d'enregistrement.

Il est recommandé d'affiner ce calcul en dissociant les flux de passagers Schengen et non Schengen, d'une part parce que leurs temps de traitement sont significativement différents, d'autre part parce que leur traitement est généralement assuré sur des ensembles de banques d'enregistrement séparés. Ainsi, la formule plus précise devient :

$$Cd_{banques} = N_{sch} \times \frac{3600}{T_{sch}} + N_{int} \times \frac{3600}{T_{int}}$$

N_{sch}/N_{int} = nombre de banques d'enregistrement Schengen/non Schengen

T_{sch}/T_{int} = temps moyen de traitement par passager Schengen/non Schengen en secondes.

Note : si les paramètres opérationnels sont exprimés non pas en temps de traitement par passager (en secondes) mais sous forme de débit unitaire des banques d'enregistrement (en pax/h), la formule de conversion est simple :

$$D_{banque} = \frac{3600}{T_{banque}}$$

D_{banque} = débit unitaire d'une banque en pax/h

T_{banque} = temps moyen de traitement par passager à une banque en secondes.

Exemple

$N_{bq} = 16$ banques

$T_{bq} = 80$ secondes/pax

$$Cd_{banques} = 8 \times 3600/80 \\ = 720 \text{ pax/h}$$

Exemple

$N_{sch} = 6$, $N_{int} = 10$

$T_{sch} = 60$ secondes, $T_{int} = 90$ s

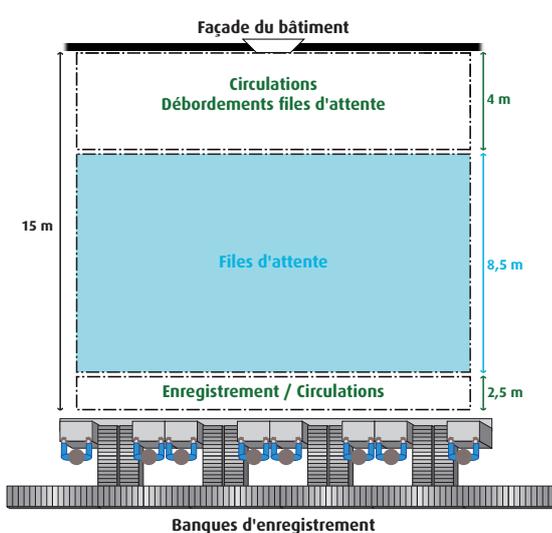
$$Cd_{banques} = 6 \times 3600/60 + 10 \times 3600/90 \\ = 360 \text{ pax Sch} + 400 \text{ pax int/h}$$

3.3.4. Capacité de l'attente aux banques d'enregistrement

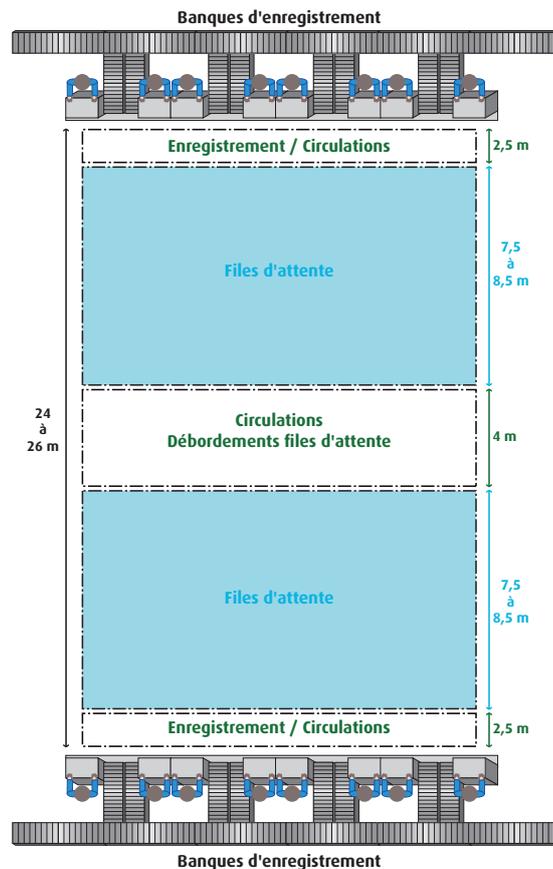
Les espaces d'attente à l'enregistrement constituent le « réservoir » dans lequel le flux de passagers locaux au départ avec bagages est stocké avant d'être traité par les banques. Ces espaces sont souvent inaccessibles aux accompagnants : les compagnies mettent en place de plus en plus souvent un pré-filtrage n'autorisant que les passagers à pénétrer dans les files afin de ne pas les surcharger.

3.3.4.1. Zonage

En l'absence de zones physiquement identifiées, le schéma suivant présente les recommandations d'attribution des surfaces d'attente à l'enregistrement pour un temps d'attente maximal de 30 à 35 minutes. En termes de qualité de service c'est généralement le temps d'attente limite acceptable (niveau D-E). Si l'on fixe un temps d'attente maximal supérieur, ces surfaces sont à augmenter en proportion, et inversement.



Ces règles de zonage concernent l'enregistrement de vols réguliers avec peu de chariots à bagages. Pour des vols tourisme, compte tenu des profils de présentation et du nombre de bagages de soute élevé, il est recommandé d'augmenter la profondeur des files d'attente 11 à 14 m au moins pour les files d'attente.



Rappel: ces recommandations ne valent que dans le cas où les zones d'attente ne sont pas matérialisées physiquement. Dans le cas contraire, il faut bien sûr utiliser le zonage réel de l'aérogare.

Les règles précédemment évoquées pour les espaces de circulation peuvent être utilisées pour adapter le zonage selon la configuration locale en présence d'obstacles, comptoirs de compagnies ou commerces, etc.

3.3.4.2. Ratios d'allocation d'espace

Le tableau suivant présente les ratios d'allocation d'espace recommandés par l'IATA dans les zones d'attente à l'enregistrement en fonction du niveau de service visé et des caractéristiques du flux de passagers. Il n'y a pas de rupture du système mais au delà du niveau E, la file d'attente déborde de la zone prévue et perturbe les circulations.

	A	B	C	D	E
Peu de chariots à bagages, moins de 1 bagage de soute en moyenne par passager (largeur de la file ≈ 1,2 m)	1,7	1,4	1,2	1,1	0,9
Peu de chariots à bagages, 1 à 2 bagages de soute en moyenne par passager (largeur de la file ≈ 1,2 m)	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1
Proportion moyenne de chariots à bagages, 1 à 2 bagages de soute/pax (largeur de la file ≈ 1,4 m)	2,3	1,9	1,7	1,6	1,5
Vol tourisme, utilisation importante de chariots, 2 bagages de soute/pax ou plus (largeur de la file ≈ 1,4 m)	2,6	2,3	2,0	1,9	1,8

3.3.4.3. Formule d'évaluation de la capacité horaire des zones d'attente à l'enregistrement

$$Cd_{\text{attente. enregistrement}} = \frac{S}{R} \times \frac{60}{T_{\text{att. enr}}}$$

S = surface d'attente (voir « zonage »)

R = ratio d'allocation d'espace par passager

$T_{\text{att enr}}$ = temps d'attente maximum à l'enregistrement (en minutes)

Exemple

16 banques de 2,5 mètres de large chacune, profondeur 8,5 m => $S = 16 \times 2,5 \times 8,5 = 340 \text{ m}^2$
 $R = 1,3$ (IATA C, peu de chariots)
 $T_{\text{att enr}} = 30$ minutes
 $Cd_{\text{att enr}} = 340/1,3 \times 60/30 = 523 \text{ pax/h}$

De même que pour les banques, il est recommandé d'affiner ce calcul en dissociant les flux de passagers Schengen, non Schengen et charter, en effet ces vols sont généralement traités sur des espaces d'attente distincts, les règles de zonage et les ratios d'allocation d'espace sont très différents.

Exemple

6 banques Schengen, 10 banques non Schengen, 8,5 m de profondeur pour toutes les zones d'attente => $S_{\text{sch}} = 127 \text{ m}^2$ et $S_{\text{int}} = 240 \text{ m}^2$
 $R_{\text{sch}} = 1,2$ (IATA C, pas de chariots); $R_{\text{int}} = 1,9$ (IATA D, vol tourisme LC)
 $T_{\text{att enr -sch}} = T_{\text{att enr -int}} = 30$ minutes
 $Cd_{\text{sch}} = 127/1,2 \times 60/30 = 212 \text{ pax Schengen/h}$
 $Cd_{\text{int}} = 240/1,9 \times 60/30 = 224 \text{ pax non Schengen/h}$

3.3.5. Prise en compte des banques d'enregistrement spécifiques

La méthode décrite dans cette partie ne prend en compte que les banques « classiques » et exclut :

- les banques haute contribution (réservées aux passagers de la classe affaires),
- les banques hors format (enregistrement des bagages hors gabarit comme skis, planches de surf, etc.),
- les bornes d'enregistrement libre service (BLS) qui permettent aux passagers de s'auto enregistrer.



3.3.5.1. Banques haute contribution

L'objectif des banques d'enregistrement haute contribution est d'offrir un temps d'attente très réduit (cf. tableau 3.2.1.3.: « acceptable à long pour un passager haute contribution » représente 5 minutes maximum) et donc de ne jamais être en saturation.

Les banques haute contribution et l'espace face à ces banques ne sont pas utilisables pour les passagers de la classe économique.

En dimensionnement, il faut compter en moyenne une banque haute contribution pour cinq banques économiques.

3.3.5.2. Banques hors format

Les banques hors format (ou hors gabarit) peuvent se trouver en situation de saturation. Il faut donc calculer séparément la capacité de l'enregistrement des bagages « classiques » et « hors format » à partir de leurs temps de traitement et surfaces d'attente respectifs.

3.3.5.3. Bornes d'enregistrement libre service (BLS)

Les BLS sont de plus en plus largement utilisées, principalement pour l'enregistrement sur des vols réguliers court ou moyen courrier, en complément (voire en substitution) des banques classiques. L'essentiel du calcul consiste donc à évaluer le nombre de passagers écoulés par les BLS en une heure (à partir de leur taux d'utilisation), qui s'ajoute à la capacité de l'enregistrement classique.

À l'heure actuelle les BLS connaissent peu de phénomène de saturation, la surface d'attente et le temps de traitement par passager ne sont donc pas critiques en termes de capacité. Ils pourraient le devenir : il faudrait alors calculer le débit des BLS (à partir des temps de traitement moyens par passager) et la capacité des zones d'attente (sur le même modèle que pour les banques classiques).

Note: l'espace d'attente aux BLS est déduit de la surface du hall public ou de la zone d'attente à l'enregistrement classique. Il n'existe pas de règles d'attribution des surfaces, ce zonage est à effectuer à partir d'observations.

3.3.6. Capacité des Postes Inspection Filtrage (PIF)

3.3.6.1. Description et flux traité

Le module « PIF » est lui aussi constitué de deux maillons : les espaces d'attente et l'inspection filtrage des passagers et bagages de cabine proprement dite. Ce module doit accueillir le flux de tous les passagers au départ sans bagages de soute.

3.3.6.2. Formule d'évaluation de la capacité des PIF (en pax/h) :

$$Cd_{PIF} = N_{PIF} \times \frac{3600}{T_{PIF}}$$

N_{PIF} = nombre de PIF

T_{PIF} = temps moyen de traitement par passager en secondes aux PIF.

Exemple

8 PIF

$T_{PIF} = 35$ secondes

$$Cd_{PIF} = 8 \times 3600/35 \\ = 823 \text{ pax/h}$$

Note: les temps moyens de traitement aux PIF sont très variables selon l'armement des PIF (nombre d'agents de sûreté affectés), le matériel et les procédures qui s'adaptent à une réglementation en constante évolution. En France, on observait avant le 11 septembre 2001 des débits moyens de l'ordre de 120 à 180 passagers par heure sur un PIF (soit 20 à 30 secondes par pax). Certains aéroports européens affichaient des débits de 200 à 250 pax/h. Compte tenu du durcissement des contraintes de sûreté, on peut s'attendre à une forte diminution de ces débits moyens, donc à une diminution de la capacité nominale des PIF.

Note: si les paramètres opérationnels sont exprimés non pas en temps de traitement par passager (en secondes) mais sous forme de débit unitaire des banques d'enregistrement (en pax/h), la formule de conversion est simple :

$$D_{PIF} = \frac{3600}{T_{PIF}}$$

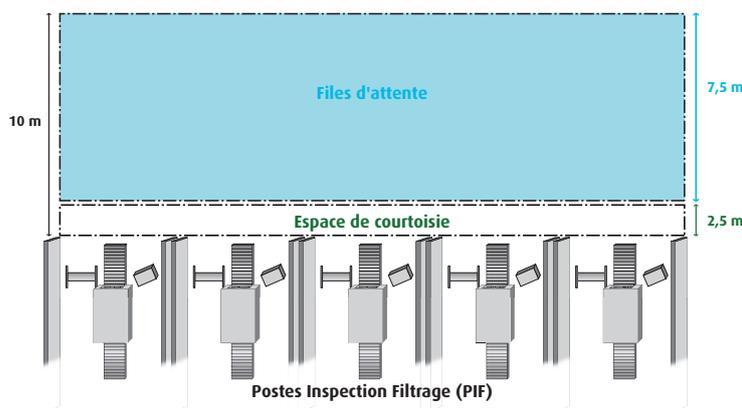
D_{PIF} = débit unitaire d'une banque en pax/h

T_{PIF} = temps moyen de traitement par passager aux PIF en secondes.

3.3.7. Capacité de l'attente aux PIF

3.3.7.1. Zonage

En l'absence de zones précisément identifiées, les schémas ci-après présentent les recommandations d'attribution des surfaces d'attente aux PIF pour un temps d'attente maximal de 12 à 15 minutes. En termes de qualité de service c'est théoriquement inacceptable (au-delà du niveau E) mais toléré par les passagers vu l'évolution de la réglementation en matière de sûreté.



Notes :

1. Les présentes recommandations s'appliquent à des PIF de 4 à 5 m de largeur par 6 m de profondeur. Si la largeur des PIF est inférieure, il faut augmenter la profondeur de la file d'attente en proportion.
2. Ces recommandations s'appliquent à un PIF situé juste après le module « enregistrement ». Selon l'enchaînement des formalités, un filtre situé en amont peut réguler le flux de passagers se présentant aux PIF. Le temps d'attente maximum est alors réduit et l'espace d'attente nécessaire est inférieur.

3.3.7.2. Ratios d'allocation d'espace

Le tableau suivant présente les ratios d'allocation d'espace recommandés par l'IATA dans les zones d'attente aux PIF et aux contrôles transfrontaliers.

	A	B	C	D	E
Allocation d'espace par passager (m ² /pax)	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6

3.3.7.3. Formule d'évaluation de la capacité horaire des zones d'attente aux PIF

$$Cd_{attente, PIF} = \frac{S \times 60}{R \times T_{att, PIF}}$$

- S = surface d'attente (voir « zonage »)
- R = ratio d'allocation d'espace par passager
- T_{att PIF} = temps d'attente maximum aux PIF (en minutes)

Exemple

6 PIF de 4 mètres de large, surface d'attente de 7,5 m de profondeur => S = 6 x 4 x 7,5 = 180 m²
 R = 1,0 (IATA C)
 T_{att PIF} = 15 minutes
 $Cd_{att PIF} = 180/1,0 \times 60/15$
 = 720 pax/h

3.3.8. Capacité du contrôle transfrontalier émigration

3.3.8.1. Description et flux traité

Le module « contrôle émigration » est constitué des espaces d'attente et des aubettes (postes de contrôle) de la police de l'air et des frontières (PAF). Ce module doit accueillir le flux des passagers au départ vers une zone hors espace Schengen sans bagages de soute.

3.3.8.2. Formule d'évaluation de la capacité du contrôle émigration

Formule d'évaluation de la capacité des aubettes

(en passagers/h):

$$Cd_{PAF\text{émig}} = N_{PAF\text{émig}} \times \frac{3600}{T_{PAF\text{émig}}}$$

$N_{PAF\text{émig}}$ = nombre d'aubettes de la PAF

$T_{PAF\text{émig}}$ = temps moyen de traitement par passager en secondes aux aubettes de la PAF.

Exemple

$N_{PAF\text{émig}} = 4$ aubettes

$T_{PAF\text{émig}} = 15$ secondes

$$Cd_{PAF} = 4 \times 3600/15$$

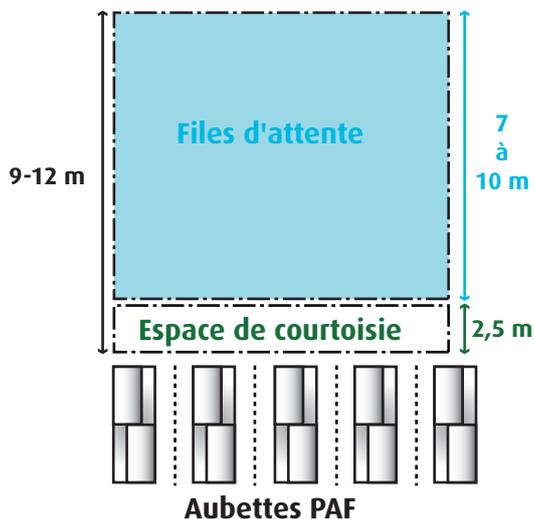
$$= 960 \text{ pax internationaux/h}$$

Note: les temps moyens de traitement aux aubettes sont variables selon le contexte international. En France on observe des temps de traitement de l'ordre de 15 secondes par passager sur les vols non sensibles.

3.3.9. Capacité de l'attente au contrôle émigration

3.3.9.1. Zonage

En l'absence de zones précisément identifiées, les schémas ci-après présentent les recommandations d'attribution des surfaces d'attente au contrôle émigration.



Notes :

1. Les présentes recommandations s'appliquent pour une largeur de l'espace d'attente correspondant à environ 2 m par aubette. Exemple de configuration : aubettes doubles de 2 m de large + couloirs de 1 m de part et d'autre. Il faut diminuer la profondeur de la file d'attente en proportion si la largeur est supérieure.
2. De même que pour le PIF, selon l'enchaînement des formalités, un filtre situé en amont peut réguler le flux des passagers se présentant au contrôle transfrontalier. Le temps d'attente maximum est alors réduit et l'espace d'attente nécessaire est inférieur.

3.3.9.2. Ratios d'allocation d'espace

Le tableau suivant présente les ratios d'allocation d'espace recommandés par l'IATA dans les zones d'attente aux PIF et aux contrôles transfrontaliers.

	A	B	C	D	E
Allocation d'espace par passager (m ² /pax)	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6

3.3.9.3. Formule d'évaluation de la capacité horaire des zones d'attente au contrôle émigration

$$Cd_{\text{attente. PAF. émig}} = \frac{S}{R} \times \frac{60}{T_{\text{att. PAF. émig}}}$$

S = surface d'attente (voir « zonage »)

R = ratio d'allocation d'espace par passager

$T_{\text{att PAF émig}}$ = temps d'attente maximum (en minutes)

Exemple

4 aubettes (= 2 aubettes doubles), largeur totale 8 m, profondeur 8 m = $S = 8 \times 8 = 64 \text{ m}^2$

R = 1,0 (IATA C)

$T_{\text{att PAF émig}} = 10$ minutes

$$Cd_{\text{att PAF émig}} = 64/1,0 \times 60/10 = 384 \text{ pax internationaux/h}$$

3.3.10. Capacité des zones d'attente à l'embarquement

Le module « zone d'embarquement » est constitué des salles d'attente à l'embarquement, commerces, services et espaces de circulation. Les salles d'attente à l'embarquement peuvent être mutualisées (1 salle pour plusieurs vols) ou individualisées. Ce module doit accueillir le flux des passagers au départ. Les salles d'embarquement « Schengen » et « non Schengen » sont toujours séparées.



3.3.10.1. Zonage et allocation d'espace dans les salles d'embarquement

Les salles d'embarquement sont des espaces dans lesquels le passager peut être amené à passer un temps très important. Le confort du passager doit donc être soigné, en particulier l'offre en places assises.

Les ratios d'allocation d'espace proposés par l'IATA sont, pour un niveau de service C :

- 1,2 m² par passager debout,
- 1,7 m² par passager assis.

Il faut déterminer les surfaces mobilisées pour les passagers assis et disponibles pour la circulation et l'attente des passagers debout. Dans le cas où le nombre et la configuration des places assises sont connus, il est possible de procéder de la manière suivante :

$$S_{\text{sièges}} = N_{\text{sièges}} \times 1,7 \text{ m}^2$$

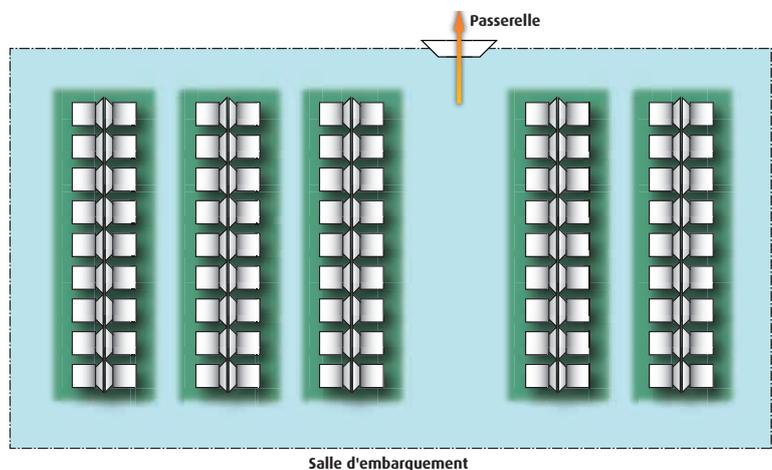
$$S_{\text{debout}} = S - S_{\text{sièges}}$$

$N_{\text{sièges}}$ = nombre de sièges offerts

S = surface totale de la salle d'embarquement

$S_{\text{sièges}}$ = surface mobilisée par les passagers assis

S_{debout} = surface de circulation et d'attente des passagers debout



Note : certains types de fauteuils sont plus ou moins volumineux, le ratio de 1,7 m²/pax assis peut être adapté au besoin.

3.3.10.2. Ratio moyen d'allocation d'espace

À partir des ratios d'allocation d'espace par passager assis ou debout, un ratio moyen (compris entre 1,2 et 1,7) est déterminé.

$$R = \frac{S_{totale}}{N_{sièges} + \frac{S_{debout}}{1,2}} \quad \text{ou} \quad \frac{S_{totale}}{1,2 S_{sièges} + 1,7 S_{debout}}$$

En l'absence d'informations sur le nombre de places assises offertes, il faut fixer arbitrairement la proportion de passagers assis à l'heure de pointe de référence. Il s'agit d'un choix de qualité de service. L'IATA recommande qu'au moins 70 % des passagers aient accès à un siège, incluant les places assises dans les espaces de restauration.

$$R = 1,7 \times \%_{assis} + 1,2 \times \%_{debout}$$

assis = proportion de passagers assis

debout = proportion de passagers debout = 1 - %_{assis}

Exemple

Pour un taux de 80 % de passagers assis à l'heure de pointe de référence, le ratio moyen d'allocation d'espace est de 1,6 m²/pax.

3.3.10.3. Taux d'occupation

Le niveau de qualité de service dans les salles d'embarquement est caractérisé par leur taux d'occupation. Le niveau F correspond à un taux de 100 %, c'est-à-dire une salle totalement pleine.

	A	B	C	D	E
Taux d'occupation maximum	40 %	50 %	65 %	80 %	95 %

3.3.10.4. Formule d'évaluation de la capacité des salles d'embarquement

$$Cd_{embarquement} = \frac{S}{R} \times \frac{60}{T_{embq}} \times \%_{occ}$$

S = surface totale de la salle d'embarquement

occ = Taux d'occupation maximum

R = ratio moyen d'allocation d'espace

T_{embq} = temps d'occupation moyen de la salle d'embarquement (en minutes)

Exemple

S = 1000 m²

occ = 100 % (IATA F)

R = 1,6

T_{embq} = 45 minutes

Cd_{embq} = 1000/1,6 x 60/45 x 1,0
= 833 pax/h.

Note: Exceptionnellement, vu ce mode de calcul particulier, on peut fixer le taux d'occupation à 100 % pour évaluer la capacité maximale d'une salle d'embarquement (soit théoriquement un niveau IATA F).

3.3.10.5. Salons d'accueil

Certaines aéroports proposent des salons d'accueil : salons commerciaux, salons officiels (VIP), centres d'affaires. Les formules d'évaluation de la capacité pour ces zones d'attente réservées à des catégories de passagers particulières sont analogues à celles de l'attente à l'embarquement.

En l'absence de données précises mesurées sur place, on peut recommander pour ces espaces un ratio d'allocation d'espace par passager de l'ordre de 2,5 à 3 m²/pax pour des salons commerciaux et jusqu'à plus de 4 m²/pax pour les salons VIP.

Les temps d'occupation moyens sont de l'ordre de 20 minutes pour un vol Schengen, 40 minutes pour un vol international et 60 minutes pour les passagers en correspondance.

3.3.11. Capacité du contrôle transfrontalier immigration

3.3.11.1. Description et flux traité

Le module « contrôle immigration » est constitué des espaces d’attente et des aubettes de la police de l’air et des frontières (PAF). Ce module doit accueillir le flux des passagers à l’arrivée depuis une zone hors espace Schengen sans bagages de soute.

3.3.11.2. Formule d’évaluation de la capacité du contrôle immigration

Le calcul est identique à celui de la capacité du contrôle émigration. Formule d’évaluation de la capacité des aubettes (en passagers/h):

$$Ca_{PAF, immig} = N_{PAF, immig} \times \frac{3600}{T_{PAF, immig}}$$

$N_{PAF, immig}$ = nombre d’aubettes de la PAF

$T_{PAF, immig}$ = temps moyen de traitement par passager en secondes aux aubettes de la PAF.

Note: les temps moyens de traitement aux aubettes sont variables selon le contexte international. Pour assurer un écoulement rapide du flux de passagers sortant de l’avion, le nombre d’aubettes PAF activées est plus important que pour le contrôle émigration.

Exemple

$N_{PAF, immig}$ = 6 aubettes
 $T_{PAF, immig}$ = 20 secondes
 $Ca_{PAF, immig} = 6 \times 3600/20$
 = 1080 pax internationaux/h

3.3.12. Capacité de l’attente au contrôle immigration

3.3.12.1. Zonage

En l’absence de zones précisément identifiées, les recommandations d’attribution des surfaces d’attente au contrôle immigration sont très supérieures à celles préconisées pour le contrôle émigration. En effet les passagers à l’arrivée se présentent presque tous simultanément au contrôle à la descente de l’avion, contrairement au contrôle départ où la présentation des passagers est normalement plus étalée dans le temps.

3.3.12.2. Ratios d’allocation d’espace

Les ratios d’allocation d’espace recommandés par l’IATA sont les suivants:

	A	B	C	D	E
Allocation d’espace par passager (m ²)	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6

3.3.12.3. Formule d’évaluation de la capacité horaire de l’attente au contrôle immigration

$$Ca_{attente, PAF, immig} = \frac{S}{R} \times \frac{60}{T_{att, PAF, immig}}$$

S = surface d’attente (voir « zonage »)

R = ratio d’allocation d’espace par passager

$T_{att, PAF, immig}$ = temps d’attente maximum au contrôle immigration (en minutes)

Exemple

6 aubettes (3 aubettes doubles), largeur totale 12 m, profondeur 20 m => S = 12 x 20 = 240 m²

R = 1,0 (IATA C)

$T_{att, PAF, émig}$ = 30 minutes

$Ca_{att, PAF, immig} = 240/1,0 \times 60/30$
 = 480 pax internationaux/h

3.3.13. Capacité des carrousels de livraison des bagages

Le module « livraison des bagages » est constitué des carrousels de livraison des bagages et des salles (attente des passagers et circulation autour des carrousels). Ce module accueille un flux de passagers à l'arrivée dont la composition dépend du fonctionnement de l'aérogare (séparation Schengen/hors Schengen ou non).

Sauf exception, les accompagnants ne sont pas autorisés à pénétrer en zone de livraison des bagages.

3.3.13.1. Ratio d'accessibilité au tapis de livraison

La qualité de service dans la livraison des bagages se traduit ici par un ratio d'accessibilité au tapis, qui représente le nombre de mètres linéaires accessibles par passager.



	A	B	C	D	E
Peu de chariots à bagages, moins de 1 bagage de soute en moyenne par passager	0,5	0,35	0,25	0,20	0,15
Pourcentage moyen de passagers utilisant des chariots à bagages, 1 à 2 bagages de soute/pax	0,7	0,5	0,35	0,25	0,20
Vol tourisme long courrier avec plus de 2 bagages soute/pax et utilisation importante de chariots	0,9	0,65	0,4	0,30	0,25

3.3.13.2. Formule d'évaluation de la capacité horaire d'un tapis de livraison

Très grossièrement, la capacité horaire d'un tapis de livraison (en nombre de passagers) est :

$$Ca_{tapis} = \frac{La}{Ra} \times \frac{60}{T_{récup}}$$

La = linéaire de tapis accessible

Ra = ratio d'accessibilité

T_{récup} = temps moyen de récupération des bagages (en minutes)

Exemple

La = 40 m

Ra = 0,25 ml/pax

T_{récup} = 10 min

$$Ca_{tapis} = 40/0,25 \times 60/10 \\ = 960 \text{ pax/h}$$

Note: Cette méthode d'évaluation est peu adaptée à la réalité opérationnelle : ce sont essentiellement les conditions de manutention, les délais d'acheminement des bagages et l'affectation des tapis qui déterminent la capacité. La formule proposée ici donne un ordre de grandeur de la capacité technique maximale d'un tapis utilisé à 100 %, ce qui est impossible en pratique.

3.3.14. Capacité des salles de livraison des bagages

3.3.14.1. Zonage

La surface effective de la salle de livraison des bagages doit d'abord être déterminée, en déduisant de la surface globale les tapis de livraison, les circulations et les zones de stockage des chariots.



3.3.14.2. Ratios d'allocation d'espace

	A	B	C	D	E
Ratio d'allocation d'espace (en m ² /pax), considérant un taux d'utilisation des chariots de 40 % environ.	2,6	2,0	1,7	1,3	1,0

3.3.14.3. Formule d'évaluation de la capacité des salles de livraison bagages

$$Ca_{livraison. bag} = \frac{S}{R} \times \frac{60}{T_{occ}}$$

S = surface utile en salle de livraison bagages

R = ratio d'allocation d'espace

T_{occ} = temps moyen d'occupation de la salle de livraison bagages en minutes

Les ordres de grandeur des temps moyens d'occupation en salle de livraison bagages sont de 10 à 15 minutes pour un vol Schengen petit ou moyen porteur et de 25 à 30 minutes pour un vol international gros porteur.

Exemple

S = 450 m²

R = 1,7 m²/pax

T_{occ} = 25 minutes

$$Ca_{livraison bagages} = 450/1,7 \times 60/25 = 635 \text{ pax/h}$$

3.3.15. Capacité des halls publics arrivées

Les halls publics arrivées sont généralement plus « critiques » que les halls départ en termes de capacité, en effet ils doivent accueillir le flux des passagers à l'arrivée avec leurs chariots et bagages, mais aussi leurs attendants, qui peuvent y séjourner relativement longtemps.

3.3.15.1. Ratios d'allocation d'espace

Ratios d'allocation d'espace recommandés par l'IATA dans les halls publics :

Niveau de service	A	B	C	D	E
Allocation d'espace (m ² /pax ou accompagnant)	2,7	2,3	2,0	1,7	1,3

3.3.15.2. Calcul de la capacité

$$Ca_{hall. arrivée} = \frac{S}{R} \times \left(\frac{60}{T_{occ. pax} + ACC \times T_{occ. accomp}} \right)$$

S = surface effective des halls publics arrivées

R = ratio d'allocation d'espace

ACC = nombre moyen d'accompagnants par pax à l'arrivée

$T_{occ. pax}$ = temps d'occupation moyen des halls publics arrivée par les passagers en minutes.

$T_{occ. acc}$ = temps d'occupation moyen des halls publics arrivée par les accompagnants en minutes.

Exemple

S = 850 m²

R = 2,0 (niveau C)

ACC = 0,6 accomp/pax

$T_{occ. pax}$ = 5 minutes

$T_{occ. acc}$ = 30 minutes

$Ca_{hall arrivée} = 850/2 \times 60/5+0,6 \times 30$
= 1109 pax/h

3.3.16. Traitement des bagages

Les flux de bagages sont généralement corrélés aux flux de passagers par un ratio en nombre de bagages moyen par passager. Ce chiffre varie selon le type de passager, la catégorie de vol et l'aérogare.

Quelques exemples de recommandations (en l'absence de données mesurées sur le terrain):

- vols intérieurs: 0,5 bag/pax,
- vols moyens courriers: 1,3 bags/pax,
- vols longs courriers: 1,7 bags/pax.

Les capacités des systèmes de tri et d'inspection filtrage des bagages de soute varient considérablement selon les équipements mis en place (dont la technologie évolue rapidement), le cheminement et le dispositif de tri des bagages. Il n'existe pas de formule générale d'évaluation de la capacité. Le lecteur trouvera des précisions dans le guide technique « conception des installations d'inspection filtrage des bagages de soute » (STAC, mars 2003) ou dans la documentation relative aux matériels d'inspection filtrage utilisés.

Quelques exemples de capacités de systèmes de tri: 1200 à 1600 bags/h pour un système de tri automatique, 600 bags/h (répartis en 4 à 5 destinations au plus) pour un tri manuel.

3.3.17. Capacité des zones « non critiques »

Il peut être pertinent dans certains cas de vérifier la capacité de zones ou équipements non « critiques » au sens du dimensionnement, mais néanmoins cruciaux. Par exemple:

- la capacité de l'offre en sanitaires pour chaque zone de l'aérogare,
- la capacité des salles UM,
- la capacité des espaces réservés aux fumeurs,
- la capacité des filtres douaniers ou des filtres de contrôle de santé (le cas échéant), etc.

3.4. Récapitulatif

Formules - capacité horaire (pax/h)	Paramètres	Valeurs types, commentaires
Hall départ $Ca_{hall. arrivée} = \frac{S}{R} \times \left(\frac{60}{T_{occ.pax} + ACC \times T_{occ. accomp}} \right)$	S = surface effective du hall départ (m ²) R = ratio d'allocation d'espace (m ² /pax) ACC = nb moyen d'accomp/pax au départ T _{occ.pax} = temps d'occupation/pax (min) T _{occ. acc} = temps d'occupation/accomp. (min)	Voir « zonage » 2,0 m ² /pax (IATA C) 0,4 à 0,6 (selon le type de vol) 15 minutes 15 minutes
Banques d'enregistrement $Cd_{banques} = N_{bq} \times \frac{3600}{T_{bq}}$	N _{bq} = nombre de banques d'enregistrement T _{bq} = temps moyen de traitement par pax (s).	Recommandation : différencier capacité Schengen/non Schengen Temps de traitement : 60 s (Sch)/ 90 s (int)
Attente aux banques d'enregistrement $Cd_{attente. enregistrement} = \frac{S}{R} \times \frac{60}{T_{att.enr}}$	S = surface d'attente (m ²) R = ratio d'allocation d'espace (m ² /pax) T _{att enr} = tps d'attente max à l'enregistrement (min)	voir « zonage » 1,2 à 2,0 m ² /pax (IATA C, selon % chariots) 30 minutes
PIF $Cd_{PIF} = N_{PIF} \times \frac{3600}{T_{PIF}}$	N _{PIF} = nombre de PIF T _{PIF} = temps moyen de traitement par pax (s).	- 30 à 40 s voir plus (renforcement sûreté)
Attente aux PIF $Cd_{attente. PIF} = \frac{S}{R} \times \frac{60}{T_{att. PIF}}$	S = surface d'attente (m ²) R = ratio d'allocation d'espace (m ² /pax) T _{att PIF} = temps d'attente max aux PIF (min)	voir « zonage » 1,0 m ² /pax (IATA C) 10-15 minutes
Contrôle émigration $Cd_{PAFémig} = N_{PAFémig} \times \frac{3600}{T_{PAFémig}}$	N _{PAF émig} = nombre d'aubettes de la PAF T _{PAF émig} = temps moyen de traitement par pax (s).	- 20 secondes
Attente au contrôle émigration $Cd_{attente. PAF. émig} = \frac{S}{R} \times \frac{60}{T_{att. PAFémig}}$	S = surface d'attente (m ²) R = ratio d'allocation d'espace (m ² /pax) T _{att PAF émig} = temps d'attente max au contrôle (min)	voir « zonage » 1,0 m ² /pax (IATA C) 10 minutes
Zone embarquement $Cd_{embarquement} = \frac{S}{R} \times \frac{60}{T_{embq}} \times \%_{occ}$	S = surface totale de la salle d'embarquement (m ²) R = ratio d'allocation d'espace moyen (m ² /pax) occ = Taux d'occupation maximum T _{embq} = temps d'occupation moyen de la salle (min)	Inclut espaces restauration et sièges 1,2 m ² /pax debout, 1,7 m ² /pax assis 100 % (IATA F) 15-45 minutes et + (très variable selon type de vol)
Contrôle immigration $Ca_{PAFimmig} = N_{PAFimmig} \times \frac{3600}{T_{PAFimmig}}$	N _{PAF immig} = nombre d'aubettes de la PAF T _{PAF immig} = temps moyen de traitement par pax (s)	- 30 s
Attente au contrôle immigration $Ca_{attente. PAF. immig} = \frac{S}{R} \times \frac{60}{T_{att. PAFimmig}}$	S = surface d'attente (m ²) R = ratio d'allocation d'espace (m ² /pax) T _{att PAF immig} = temps d'attente max au contrôle (min)	Voir « zonage » 1,0 m ² /pax (IATA C) 30 minutes
Attente en zone de livraison bagages $Ca_{livraison.bag} = \frac{S}{R} \times \frac{60}{T_{occ}}$	S = surface utile en salle de livraison bagages (m ²) R = ratio d'allocation d'espace (m ² /pax) T _{occ} = temps moyen d'occupation de la salle de livraison bagages (min)	Voir « zonage », exclure tapis & circulations 1,7 m ² /pax (IATA C, 40 % de chariots) 15 minutes
Carrousel de livraison des bagages $Ca_{tapis} = \frac{La}{Ra} \times \frac{60}{T_{récup}}$	La = linéaire de tapis accessible (m) Ra = ratio d'accessibilité (ml/pax) T _{récup} = temps moyen de récupération bags (min)	À mesurer 0,25 à 0,4 (IATA C, selon % chariots) 10-15 minutes à 25-30 minutes selon module avion
Hall public arrivées $Ca_{hall. arriv} = \frac{S}{R} \times \left(\frac{60}{T_{occ.pax} + ACC + T_{occ. acc}} \right)$	S = surface effective des halls publics arrivées (m ²) R = ratio d'allocation d'espace (m ² /pax) ACC = nombre moyen d'accomp/pax à l'arrivée T _{occ.pax} = temps d'occupation moyen par pax (min). T _{occ. acc} = tps d'occupation moyen par accomp. (min).	voir « zonage » 2,0 m ² /pax (IATA C, % chariots moyens) 0,4 à 0,6 (selon le type de vol) 5 min 30 min

3.5. Diagnostic de capacité d'une aérogare existante

L'objet de cette partie est de présenter une méthode de diagnostic d'une aérogare existante, visant à analyser les marges de capacité par module et identifier les saturations prévisibles à divers horizons en fonction de l'évolution du trafic prévue.

3.5.1. Méthode

3.5.1.1. Données de trafic

Pour analyser les marges de capacité ou la saturation dans l'aérogare, un certain nombre de données sont nécessaires :

- le flux de passagers au départ à l'heure de pointe de référence (40^{ème} heure ou autre),
- le flux de passagers à l'arrivée à l'heure de pointe de référence,
- la répartition Schengen/non Schengen pour ces trafics de référence,
- le flux de passagers départ + arrivée à l'heure de pointe de référence,
- (optionnel) Le flux de passagers en correspondance à l'heure de pointe de référence,

Auxquels s'ajoutent les paramètres utilisés pour l'évaluation de la capacité :

- nombre moyen d'accompagnants par passager au départ et d'attendants par passager à l'arrivée.
- (optionnel) Nombre moyen de personnels navigants pour 100 pax au départ,
- etc. (autres facteurs optionnels)

Exemple

- Flux de passagers de référence au départ: 400 pax/h en régime international, 300 pax/h en régime Schengen
- Flux de passagers de référence à l'arrivée: 400 pax/h en régime international, 300 pax/h en régime Schengen
- Flux de passagers de référence arrivée + départ: 1 100 pax/h
- Flux de pax en correspondance : négligé
- 0,4 accompagnant/pax au départ, 0,7 à l'arrivée – 5 % de personnels navigants dans le flux départ.

3.5.1.2. Données opérationnelles

Dans le cadre d'un diagnostic de capacité d'une aérogare existante en fonctionnement, il est vivement recommandé de réaliser des campagnes de mesures et de comptages sur site pour déterminer les paramètres opérationnels, notamment :

- Les temps moyens de traitement aux différents filtres,
- Les temps moyens d'occupation (par module, par type de vol),

Ces campagnes peuvent également apporter de précieux éléments d'information sur la structure du trafic (partie précédente), par exemple :

- profils de présentation des passagers,
- nombres moyens d'accompagnants,
- proportion d'utilisation de chariots à bagages,
- etc.

En l'absence de mesures ou comptages, des valeurs moyennes type données en partie 3.4. peuvent être utilisées, ou des valeurs mesurées dans des aéroports comparables, mais c'est une solution par défaut.

3.5.1.3. Calcul des capacités de chaque module

Déterminer la capacité, en pax/h, de chaque module de la fonction trafic pour un niveau de service A, B, C, D et E, à partir des paramètres et formules précédemment évoqués.

Exemple

Module		Capacité selon qualité de service en pax/h ou en pers/h				
		A	B	C	D	E
Hall départ		741	870	1000	1176	1538
Enregistrement	Schengen	360	360	360	360	360
	international	400	400	400	400	400
Attente enregistrement	Schengen	212	257	300	327	400
	international	278	337	376	400	427
PIF		823	823	823	823	823
Attente PIF		686	800	960	1200	1600
PAF émigration		960	960	960	960	960
Attente PAF émigration		300	350	420	525	700
Embarquement	Schengen	360	450	585	720	855
	international	217	271	352	433	515
PAF immigration		1080	1080	1080	1080	1080
Attente PAF immigration		343	400	480	600	800
Attente livraison bagages		554	720	847	1108	1440
Hall arrivées		769	903	1038	1222	1598

Remarques importantes :

Pour les modules de type « réservoir » (zones d'attente), deux paramètres de qualité de service entrent normalement en compte : le ratio d'allocation d'espace par passager et le temps d'attente maximum. Cependant, le deuxième paramètre est conditionné par le débit des filtres ; sa valeur est ici fixée, seul le ratio d'allocation d'espace varie du niveau A à E.

Pour les modules de type « filtre », il n'y a pas de variation selon la qualité de service : la capacité correspond simplement à un débit. La marge entre le débit et le flux à traiter donne cependant souvent une bonne indication du niveau de saturation du module en question (par exemple, une marge de plus de 50 % indique que le module est parfaitement fluide ; si la marge est de moins de 10 %, le risque de saturation est élevé et le module peut être considéré comme « limitatif »). La partie suivante propose un autre moyen de prendre en compte la qualité de service dans les filtres par l'utilisation de la théorie des files d'attente.

3.5.1.4. Comparaison avec le volume des flux => qualité de service associée à chaque module

Les flux sont ensuite comparés à ces capacités en pax/h, ce qui permet de déterminer pour chaque module la qualité de service associée au traitement du flux.

Cette méthode permet d'envisager plusieurs hypothèses de trafic (le flux de référence peut varier), ce qui permet par exemple d'identifier à partir de quel flux la qualité de service se dégrade et sur quel module.

Le tableau suivant est ensuite construit:

Exemple

Module	Rappel capacité					Flux traité	QDS	
	A	B	C	D	E			
Hall départ	741	870	1000	1176	1538	980	C	
Enregistrement	Schengen	360	360	360	360	360	300	suffisant
	international	400	400	400	400	400	400	suffisant -
Attente enregistrement	Schengen	212	257	300	327	400	300	C
	international	278	337	376	400	427	400	D
PIF	823	823	823	823	823	700	suffisant	
Attente PIF	686	800	960	1200	1600	700	B	
PAF émigration	960	960	960	960	960	400	suffisant +	
Attente PAF émigration	300	350	420	525	700	400	C	
Embarquement	Schengen	360	450	585	720	855	300	A
	international	217	271	352	433	433	400	D
PAF immigration	1080	1080	1080	1080	1080	400	suffisant ++	
Attente PAF immigration	343	400	480	600	800	400	B	
Attente livraison bagages	554	720	847	1108	1440	700	B	
Hall arrivées	769	903	1038	1222	1598	1190	D	

3.5.1.5. Propositions d'interprétations

Le tableau précédent peut s'interpréter de la façon suivante:

- les modules limitatifs de la capacité pour ce trafic de référence sont le hall arrivées, l'enregistrement et sa zone d'attente pour le régime international et la salle embarquement international. En cas d'augmentation du trafic ce sont les modules qu'il faudra agrandir ou réaménager en priorité,
- les modules suivants qui arriveront à saturation par la suite seront: le hall départ, l'attente à l'enregistrement Schengen, l'attente au filtre émigration,
- la zone d'embarquement Schengen est surdimensionnée par rapport au trafic actuel, une partie de sa surface pourrait être utilisée pour augmenter la capacité d'un autre module,
- etc.

3.5.2. Limites de la méthode macroscopique

Les flux de passagers ne sont pas nécessairement constants tout au long du cheminement au départ ou à l'arrivée : en dehors des trajets différenciés selon le régime Schengen/non Schengen, le flux des passagers ne s'écoule pas de façon continue et régulière partout dans l'aérogare.

Le trafic de référence au départ correspond au flux de passagers se présentant dans l'aérogare en une heure, mais pas nécessairement au flux de passagers se présentant aux PIF, aux contrôles émigration ou à l'embarquement en une heure. Par exemple un programme de vol de 3 avions de 300 pax sur une heure, soit un flux de 900 pax/h à l'embarquement, peut ne créer qu'un flux maximum de 600 à 700 pax/h se présentant à l'enregistrement, puisque celui-ci est plus étalé dans le temps (ceci sans compter d'éventuels passagers en correspondance).

La méthode macroscopique ne permet pas de détecter certains phénomènes sur des courtes durées. Par exemple, si le flux de passagers se présentant aux filtres émigration subit une hausse brutale mais courte, cela peut provoquer une dégradation de la qualité de service qui n'est pas détectée par la méthode macroscopique.

Le flux de passagers traité par un module est conditionné par le débit des modules situés en amont : le débit de l'enregistrement permet de réguler les flux de passagers se présentant aux filtres en aval. Il est donc recommandé d'analyser le mode de présentation des passagers sur chaque module, à partir du fonctionnement de l'aérogare, pour affiner l'estimation des flux traités dans le diagnostic.

Cependant certaines aérogares peuvent être des systèmes tellement complexes que sans le recours aux méthodes par simulation (voir partie suivante), il est impossible de prendre en compte l'ensemble des flux et leurs interactions de façon rigoureuse.

3.5.3. Pour aller plus loin : théorie des files d'attente

Lorsque plusieurs passagers tentent simultanément d'obtenir un service, c'est-à-dire d'accéder à un filtre ou une banque d'enregistrement, certains doivent patienter et attendre dans des files d'attente, ou tampons. La théorie des files d'attente, issue du calcul des probabilités, permet d'étudier de façon moins schématique que précédemment le fonctionnement de ces processeurs et la formation des files d'attente.



3.5.3.1. Hypothèses et modélisation d'une file d'attente à un processeur dans une aérogare

Il existe de nombreuses façons de modéliser une file d'attente et ce que l'on appelle le processus de « naissance » et de « mort » des passagers, c'est-à-dire leur arrivée dans la file et leur traitement par le processeur. Le modèle qui convient le mieux aux files d'attente dans une aérogare est celui des chaînes de Markov, ou files d'attente Markoviennes de type $M/M/c$. Il implique les hypothèses suivantes :

- le premier M signifie « Memoryless arrival time probability function » ou fonction de probabilité de temps d'arrivée sans mémoire ; en d'autres termes, les moments où les passagers successifs entrent dans une file d'attente ne dépendent pas des moments où sont arrivés les passagers antérieurs,
- le second M correspond à « Memoryless service time probability function » ; en d'autres termes, le temps de traitement d'un passager ne dépend pas des temps de traitement des passagers antérieurs,
- « c » est le nombre de serveurs (banques, filtres, etc.) alimentés par la file d'attente.

Le système est décrit par :

- un processus d'arrivées « poissonnien » de taux λ
- une loi exponentielle de service de taux μ
- une file d'attente de capacité « infinie »,
- les passagers sont traités dans l'ordre de leur arrivée, mais cette hypothèse n'est en fait pas nécessaire.

Note: Il existe des méthodes statistiques, comme le test du χ^2 de Pearson, qui permettent de vérifier si les lois de présentation et de service réelles se rapprochent des lois théoriques à partir d'un échantillon représentatif de mesures sur le terrain.

3.5.3.2. Résultats de la théorie des files d'attente appliquée à l'aérogare

Paramètres :

λ = taux moyen d'arrivée, c'est le flux moyen de passagers en entrée (en pax/unité de temps),

μ = taux moyen de service = 1/(temps moyen de traitement)

On définit $\rho = \frac{\lambda}{\mu \cdot c}$

Les formules ci-après sont valables **en régime permanent**, c'est-à-dire en considérant que le taux moyen d'arrivée des passagers est constant sur une très longue durée. Ce qui implique la condition de stabilité suivante : $\rho < 1$ (concrètement cela signifie que le nombre de serveurs doit être suffisant pour traiter ce flux de passagers même s'il se prolonge sur une durée infinie).

Ce sont les principales limites de cette modélisation en termes d'exploitation : dans la réalité, une heure de pointe est souvent suivie d'une heure beaucoup moins chargée permettant d'écouler le surplus de passagers qui n'ont pas pu être traités.

On démontre les résultats suivants en régime permanent :

Probabilité d'avoir 0 pax dans le système :

$$P_0 = \left\{ \left[\sum_{k=0}^{c-1} \frac{(\lambda/\mu)^k}{k!} \right] + \left[(c \cdot \rho)^c \cdot \left(\frac{1}{c!} \right) \left(\frac{1}{1-\rho} \right) \right] \right\}^{-1}$$

Probabilité pour un passager de devoir attendre : $P_w = \frac{(c \cdot \rho)^c \cdot P_0}{c! (1-\rho)}$

Nombre moyen de passagers dans la file : $L_Q = \frac{\rho \cdot P_w}{(1-\rho)}$

Temps moyen d'attente d'un passager : $W_Q = \frac{1}{\lambda} \left(c \cdot \rho + \frac{\rho \cdot P_w}{(1-\rho)} \right) - \frac{1}{\mu}$

Exemple

File d'attente à une inspection filtrage centralisé et constituée de 4 PIF :

- Flux de passagers en entrée de 570 pax/h, soit 0,15833 pax/seconde => taux moyen d'arrivée : $\lambda = 0,15833$

- Temps de traitement moyen de 25 secondes/pax => Taux moyen de service : $\mu = 1/25 = 0,04$

- $c = 4$ serveurs, $\rho = \lambda / c \cdot \mu = 0,15833 / (4 \cdot 0,04) = 0,98958 < 1$ (condition de stabilité)

Résultats : Probabilité d'avoir 0 pax dans le système (système = file d'attente + PIF) : 0,00099

Probabilité pour un passager de devoir attendre : 0,97699

Nombre moyen de passagers dans la file : 93

Temps moyen d'attente : 586 s = 9 minutes 46

3.5.3.3. Interprétation – qualité de service - application au diagnostic de capacité

La qualité de service dans une file d’attente dépend de deux facteurs: l’espace par passager (lié au nombre de passagers dans la file) et le temps d’attente. La théorie des files d’attente permet de calculer les valeurs moyennes de ces indicateurs en prenant en compte la variabilité des temps de traitement et le caractère erratique des arrivées des passagers.

Même si le débit global d’un processeur est supérieur au flux de passagers qu’il doit traiter (dans l’exemple précédent, les 4 PIF ont un débit moyen global de 576 pax/h), cela ne signifie pas que les passagers vont s’écouler de manière fluide et continue: on constate dans l’exemple que pour un flux de 570 pax/h, le temps moyen d’attente sera de presque 10 minutes et qu’en moyenne 93 passagers se trouveront dans la file d’attente.

Il est possible de réaliser plusieurs tests pour une même configuration de PIF et ainsi de mettre en évidence l’évolution du temps d’attente ou du nombre de passagers en fonction du débit traité, à nombre de serveurs fixe, puis de comparer ces valeurs à une échelle de niveaux de service.

Exemple

Flux (pax/h)	500	530	550	555	560	565	568	570	572	574
L _q (pax)	5	10	19	24	33	49	69	93	141	285
W _q (min)	34''	1' 05''	2' 05''	2'38	3'31	5'13	7' 16''	9' 46''	14' 46''	29' 46''

Dans le diagnostic de capacité, aux débits fixes en pax/h, on pourra donc substituer les valeurs de flux de passager correspondant à chaque niveau de service.

Exemple

Module	Rappel capacités					Flux traité	QDS
	A	B	C	D	E		
PIF (4 postes)	500	560	568	572	575	550	B

L’observation des valeurs du tableau montre immédiatement les limites du modèle: en régime permanent, le temps d’attente explose de façon démesurée pour de très faibles variations du flux lorsque celui-ci se rapproche du débit maximum des PIF (car le taux moyen d’utilisation des serveurs se rapproche de 1, valeur limite au-dessus de laquelle la condition de stabilité n’est plus vérifiée).

Par ailleurs, cette théorie (mais c’est là une limite commune à toutes les méthodes théoriques de détermination de la capacité, même les plus fines) ne prend pas en compte les facteurs humains: l’efficacité des opérateurs a tendance à augmenter pendant les périodes de pointe. Le temps moyen de traitement peut donc diminuer pendant les heures de pointe, améliorant de fait le débit. Un tel débit ne pourra cependant pas être assuré sur de longues périodes.

Conclusion :

La théorie des files d'attente, basée sur des modèles probabilistes, permet de tirer quelques enseignements qualitatifs sur la relation entre le débit moyen d'un processeur, la longueur moyenne des files et le temps d'attente moyen en régime permanent.

Elle peut donner des résultats relativement conformes à la réalité dans les situations où le flux subit peu de variations sur de longues périodes: on peut, par exemple, observer dans certaines aéroports de tels régimes « quasi permanents » sur les PIF, dont le flux entrant est régulé par les banques d'enregistrement.

Mais elle n'est pas adaptée pour les aéroports qui connaissent de fortes variabilités du flux de passagers sur de courtes périodes. Seules les méthodes par simulation (voir partie suivante) permettent d'évaluer ces phénomènes par rapport à des flux réels de passagers.

4 La méthode microscopique

4.1. Principe

La méthode dite « microscopique » relève d'une approche par simulation : il s'agit de modéliser l'ensemble de l'aérogare, puis de créer des flux de passagers et de bagages et d'observer la façon dont ils s'écoulent. Des lois statistiques sont utilisées pour simuler le comportement des passagers dans les différentes zones de l'aérogare et leur traitement par les modules de la fonction trafic.

Il s'agit de la même démarche que celle du diagnostic de capacité. Elle consiste à se placer en position d'observateur, dans une infrastructure déterminée, exploitée selon des procédures connues ; les flux de passagers s'écoulent d'une façon bien précise que l'on peut associer à une qualité de service observée. C'est le flux de passagers aux conditions « limites » qui indique la capacité de l'aérogare.

Méthodologie : un flux de passagers est généré, on observe la façon dont il est écoulé au travers des différents modules de traitement. Si les conditions de qualité de service passent sous un certain seuil, ou si le nombre d'équipements ne suffit plus à traiter le flux, la saturation est atteinte : la capacité de l'aérogare est dépassée. Sinon, on réitère avec un flux de passagers plus important jusqu'à obtenir la saturation.

4.2. Champ d'application

4.2.1. Domaine d'utilisation

La méthode microscopique n'est jamais utilisée en planification ou en programmation : sa mise en œuvre nécessite en effet une connaissance précise de l'infrastructure et de son mode d'exploitation ainsi que du trafic.

L'utilisation de la simulation en conception ou en exploitation d'aérogare présente l'avantage majeur de prendre en compte l'aspect dynamique de l'écoulement des flux : bien souvent, seule la simulation permet de prévoir la formation de « points de congestion » dans un aérogare et d'y remédier.

La simulation ne fournira jamais une « solution optimale » d'aménagement : cela n'existe pas. Elle permet d'observer comment fonctionne une solution d'aménagement donnée par rapport à un certain trafic. Utiliser la simulation pour concevoir une infrastructure consiste donc à tester un éventail de trafics sur divers concepts d'aménagement, pour identifier la solution la plus robuste par rapport aux situations les plus courantes (tout en prenant en compte les aspects financiers).

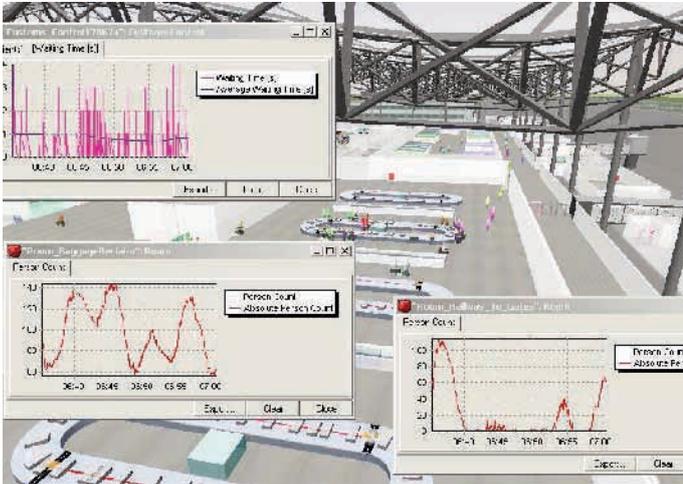
Il existe différents outils plus ou moins fins adaptés à différents usages. Certains outils proposent plusieurs niveaux de précision dans la modélisation.

Par exemple, si l'objectif est d'étudier la longueur d'une file d'attente, il n'est pas toujours nécessaire de mettre en œuvre une modélisation complexe prenant en compte les obstacles et caractéristiques spatiales détaillées des espaces. En revanche, si l'on veut observer la gêne créée par cette file d'attente sur l'écoulement de flux transversaux, le temps de retard moyen des passagers ou le nombre de passagers présents dans une zone donnée, les circuits réels des passagers devront être modélisés pour prendre en compte toutes les interactions possibles.

4.2.2. Résultats

Les outils de simulation ont de nombreux domaines d'application et donnent une grande variété de résultats. Une interface graphique permet généralement de visualiser en 2 ou 3 dimensions l'écoulement des flux de passagers en temps réel ou en accéléré. Quelques exemples d'applications possibles :

- observer l'écoulement des flux et visualiser les zones de congestion (fortes densités de passagers, gênes à la circulation occasionnées par la formation de files d'attente) en temps réel ou en accéléré,
- observer l'effet d'un événement (panne d'équipement, conditions dégradées, traitement d'un vol particulier ou sensible, etc.) sur le fonctionnement de l'aérogare,
- observer l'effet d'une modification de l'aménagement, de la signalisation, de l'allocation des ressources ou des conditions d'exploitation sur la qualité de service,
- comparer différentes solutions d'aménagement, optimiser la configuration des équipements dans un espace,
- calculer le nombre de passagers présents dans une zone donnée du terminal à un instant T ou le nombre de passagers traités par l'aérogare pendant une période donnée,



- calculer le retard moyen d'un passager ou le temps moyen nécessaire pour qu'un passager passe successivement toutes les formalités obligatoires,
- calculer le nombre maximum ou moyen de passagers dans une file d'attente, le temps d'attente maximum ou moyen dans une file d'attente,
- déterminer le nombre de ressources minimum nécessaire pour écouler un flux donné dans de bonnes conditions de qualité de service,
- observer les variations de la qualité de service dans chacune des zones de traitement,
- applications commerciales: évaluer le potentiel commercial d'un point de vente ou d'un espace d'affichage publicitaire en déterminant le nombre de passagers passant à proximité, etc.

4.2.3. Limites

L'utilité de la simulation pour l'exploitation ou la conception d'une aéroport est évidente. Elle trouve néanmoins ses limites:

- les logiciels de simulation sont coûteux; des mises à jour régulières sont nécessaires pour corriger les défauts ou intégrer de nouvelles fonctionnalités,
- ils sont souvent complexes et difficiles à maîtriser, ce qui représente un investissement pour la formation des utilisateurs,
- la modélisation du comportement individuel des passagers reste très délicate,
- le volume de données très important conduit à un temps important pour le paramétrage et la modélisation de l'infrastructure (en revanche, une fois l'infrastructure modélisée, elle est réutilisable pour d'autres simulations).

Enfin et surtout, la validité des résultats repose presque entièrement sur la qualité des hypothèses de trafic et la précision du paramétrage. Un seul paramètre mal renseigné peut suffire à faire dévier le modèle vers une situation très éloignée de la réalité, un principe résumé par l'adage classique en simulation: « garbage in, garbage out ».

4.3. Paramètres

La micro-simulation nécessite un nombre de paramètres très important et suppose donc une connaissance approfondie des facteurs de premier ordre (trafic, caractéristiques d'exploitation, caractéristiques structurelles).

4.3.1. Paramètres liés au trafic

Le flux des passagers est modélisé de façon individualisée: chaque passager est une entité avec son comportement individuel.

La simulation du cheminement des passagers est réalisée depuis son entrée dans l'aéroport (hall public, ou descente de l'avion) jusqu'à sa sortie (du hall public ou montée dans l'avion).

4.3.1.1. Segmentation du trafic

Les paramètres de base sont ceux utilisés pour la méthode macroscopique, mais la méthode microscopique peut mettre en œuvre des paramètres complémentaires pour affiner la modélisation du trafic. En plus de la répartition Schengen/non Schengen, le trafic passager est alors segmenté en sous-catégories, par exemple:

- par types de vol: régulier/charter/bas coût,
- par rayon d'action: long/moyen/court courrier,

- par motif de voyage: affaires, affinitaire, tourisme, etc.

En effet, selon ces critères, un passager ne se comportera pas de la même façon. Ainsi, un passager dit « affaire » sur un vol régulier aura tendance à se présenter plus tard à l'enregistrement qu'un passager tourisme sur un vol charter. Un exemple de segmentation simple: répartition des passagers (en %) entre les catégories suivantes: long courrier non Schengen/moyen-courrier non Schengen/moyen-courrier Schengen.

4.3.1.2. Scénario avions

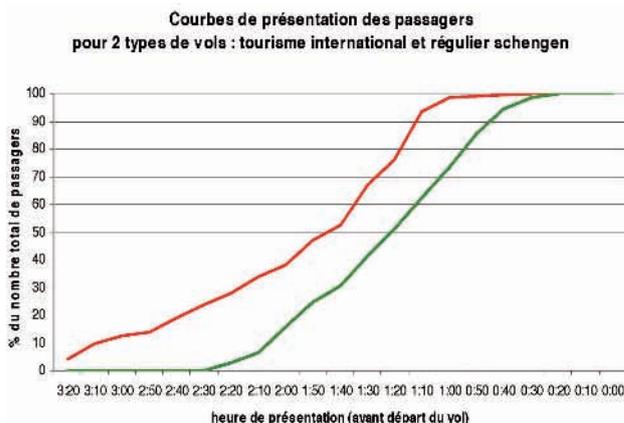
La modélisation du trafic sous la forme d'heures de pointe de référence atteint rapidement ses limites. Pour réaliser une simulation réaliste, il faut disposer d'un scénario avions sur une période représentative (heure, plage de hub, journée type).

Le programme de vols doit au minimum comporter les informations suivantes :

- Pour tous les vols: type de vol, destination (Schengen/non Schengen) et rayon d'action, nombre de sièges offerts, taux de remplissage, taux de passagers en correspondance.
- Pour les vols au départ: heure de départ, heure de début et de fin de l'enregistrement, banque(s) d'enregistrement et porte(s) d'embarquement affectées.
- Pour les vols à l'arrivée: heure d'arrivée, heure de début et de fin de livraison des bagages, tapis de livraison des bagages affecté.

La loi de présentation des passagers est généralement exprimée sous la forme d'un diagramme cumulatif.

La figure suivante présente deux exemples de **courbes de présentation de passagers au départ** pour un vol tourisme international et pour un vol régulier Schengen.



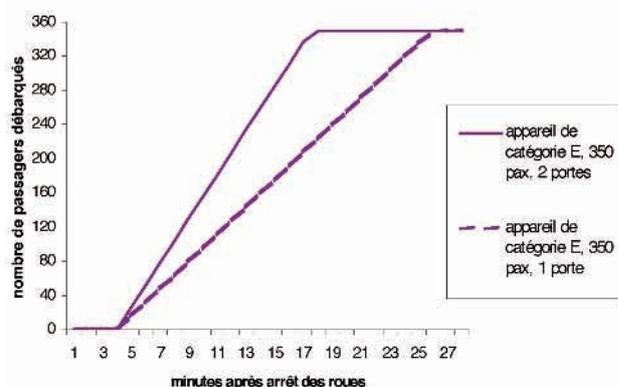
international et pour un vol régulier Schengen.

ATTENTION: il s'agit de courbes moyennes types proposées ici à titre théorique. Une mise en pratique rigoureuse de la méthode des scénario avions doit être basée sur des courbes de présentation construites à partir de données locales.

À noter en particulier que les courbes de présentation au départ diffèrent selon le moment de la journée: si un passager au départ d'un vol de l'après-midi peut se présenter 3 heures avant l'heure prévue, il est peu probable qu'il se présente à 4h00 du matin pour un vol partant à 7h00.

La figure suivante présente **deux courbes types de débarquement** correspondant à l'arrivée d'un vol de 350 passagers pour un appareil muni d'1 ou 2 portes.

Courbes de présentation des passagers à l'arrivée d'un vol



Les temps moyens de débarquement proposés par l'IATA, de l'arrêt des roues à la sortie du dernier passager, sont d'environ :

- 5 minutes pour un appareil de catégorie B de 40 pax,
- 10 minutes pour un catégorie C de 130 pax,
- 15 minutes pour un catégorie D de 250 pax,
- 15 (2 portes) à 25 (1 porte) minutes pour un catégorie E de 350 pax,
- 20 (2 portes) à 30 (1 porte) minutes pour un catégorie F de 470 pax,

4.3.1.3. Comportement des passagers

Le « comportement » du passager au sens de la simulation est l'ensemble des caractéristiques qui permettent de générer son cheminement dans l'aérogare.

La donnée de base du comportement du passager est son heure de présentation dans l'aérogare.

Pour un passager au départ, la chronologie du cheminement est calculée à partir de l'heure limite d'enregistrement (ou de l'heure d'embarquement). Les courbes de présentation peuvent être déclinées en fonction de la typologie des passagers établie précédemment. Par exemple pour un passager au départ on peut utiliser trois courbes de présentation des passagers différentes pour les catégories « long courrier non Schengen », « Moyen courrier Schengen » et « Moyen courrier non Schengen ».



Ensuite, le modèle construit les flux de passagers entrant dans l'aérogare à partir de ces courbes et du scénario avions de référence.

Le cheminement des passagers est plus évident pour un passager à l'arrivée. La chronologie est calculée à partir de l'heure d'arrivée de l'avion, qui correspond à quelques minutes près à l'heure d'entrée dans l'aérogare. Les passagers descendent tous successivement de l'avion, se dirigent tous vers la salle de livraison des bagages de soute (après avoir passé un contrôle d'immigration pour les vols hors Schengen), puis débouchent dans le hall public.

Au moment où un passager (ou groupe de passagers) est généré, c'est-à-dire au moment où il entre dans l'aérogare, des caractéristiques lui sont attribuées: nombre de bagages de soute, utilisation ou non d'un chariot, vitesse de déplacement (avec chariot, avec bagage de soute, sans bagage de soute), points de passage obligatoires. Les mêmes caractéristiques peuvent être attribuées à tous les passagers d'une même catégorie, mais les modèles plus précis utilisent des méthodes probabilistes et lois de répartition.

Le passager est souvent confronté à des choix entre plusieurs équipements pour les formalités qu'il doit accomplir, par exemple, entre plusieurs banques ou plusieurs PIF. Le passager choisit généralement la file la plus courte mais certains modèles proposent des comportements de choix plus « intelligents », prenant en compte la distance à parcourir, la longueur de la file d'attente et le temps de traitement moyen.

Les modèles les plus fins peuvent gérer les « collisions », c'est-à-dire qu'ils ne permettent pas que les passagers se passent au travers. Les passagers ou chariots constituent ainsi des obstacles mobiles: lorsque deux flux se croisent ou qu'un flux traverse une zone d'accumulation de passagers, cela occasionne un ralentissement et une perturbation, les passagers cherchant à s'éviter les uns les autres.

Ils peuvent également intégrer des comportements de groupe ou modifier les cheminements des passagers en fonction de lois de diffusion régissant les mouvements de piétons: un passager peut se tromper de direction, suivre la signalisation, contourner un obstacle, éviter une zone encombrée (quitte à allonger le trajet dans l'aérogare), suivre un mouvement de foule, etc.

4.3.2. Paramètres structurels

La mise en œuvre d'une méthode microscopique nécessite en premier lieu la modélisation complète du terminal et de tous ses équipements: les paramètres sont donc sensiblement identiques à ceux utilisés pour la méthode macroscopique, mais souvent plus détaillés.

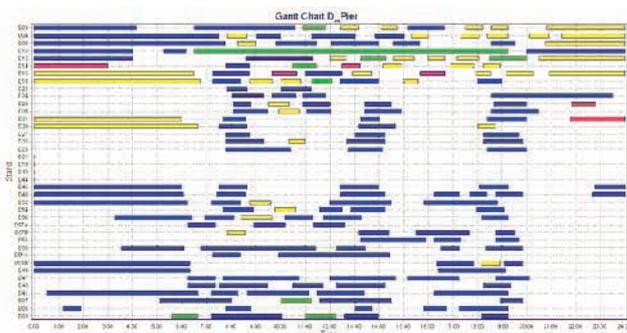
Pour créer les cheminements des passagers, différentes méthodes sont possibles: les passagers peuvent circuler sur des « rails » virtuels (cheminement le long de lignes prédéfinies), ou totalement libres de leurs mouvements (lorsque le passager entre dans une zone, il cherche à atteindre sa destination: son trajet n'est pas nécessairement le plus court possible en distance mais tient compte de l'évitement des autres passagers et des obstacles, et des difficultés d'orientation).



4.3.3. Paramètres d'exploitation

Certains outils de simulation ont l'avantage de permettre de moduler les paramètres opérationnels de façon dynamique, en fonction du temps et en fonction des entités traitées. Ainsi:

- les temps de traitement des différents filtres peuvent varier selon les caractéristiques comportementales du passager: un passager avec 2 bagages de soute sur un vol tourisme n'aura pas le même temps d'enregistrement qu'un passager affaires sans bagage de soute sur un vol régulier,



- les temps de traitement de certains filtres peuvent varier suivant le nombre ou la compétence du personnel affecté: le débit des PIF peut varier considérablement selon leur armement (nombre d'agents de sûreté affectés à leur fonctionnement),

- le modèle permet une allocation dynamique des ressources: activation/fermeture de banques d'enregistrement, PIF et filtres transfrontaliers, affectation des portes d'embarquement ou des tapis de livraison bagages par vol ou par type de vol,

- le taux de disponibilité des équipements et des filtres peut être pris en compte, sous la forme d'une probabilité de panne des appareils ou de manque de personnel,

- etc.

4.3.4. Qualité de service

Grâce à la méthode par simulation, il est possible d'observer l'évolution de la qualité de service de façon « dynamique » au cours du temps.

Les outils de simulation permettent de définir un contrôle de l'affectation des ressources selon la qualité de service: dès que la qualité de service est trop dégradée avec un allongement inacceptable des files d'attente, un ou plusieurs nouveaux équipements sont ouverts pour les résorber.

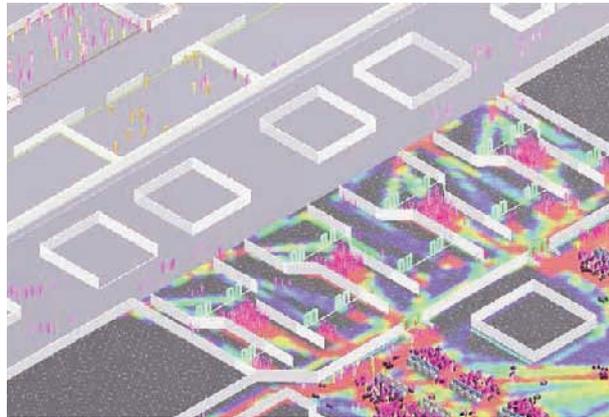
Certains outils permettent une visualisation de l'occupation de l'espace par les passagers sous forme de « stress grid » (grille colorée montrant les zones à forte occupation et les zones vides).



4.4. Approche simplifiée de la simulation d'une file d'attente

La théorie des files d'attente met en œuvre des formules stochastiques pour simuler les aléas dans les heures de présentation des passagers et la variabilité des temps de traitement, mais reste une modélisation mathématique abstraite.

Seule la simulation permet de représenter le comportement individuel des passagers et donc les flux réels traités par chaque module de l'aérogare. Cette partie présente de façon très schématique quelques exemples d'applications de la simulation à l'étude des files d'attente dans une aérogare, basés sur les diagrammes cumulatifs.



4.4.1. Caractérisation des files d'attente dans une aérogare

Cinq paramètres définissent un phénomène d'attente de passagers dans une aérogare.

4.4.1.1. Loi d'arrivée des passagers

Une fonction de répartition définit l'instant d'arrivée de chaque passager :

- dans le cas de la file d'attente à l'enregistrement, il s'agit des courbes de présentation de passagers au départ évoquées précédemment. L'idéal est de construire ces courbes à partir de données réelles mesurées dans l'aérogare ; dans le cas contraire on peut appliquer une règle stochastique pour modéliser les aléas de répartition des passagers dans le temps (en prenant en compte la « régulation » dans le cas où un dispositif de pré-filtrage est mis en place),
- dans le cas d'un point de passage situé en aval d'un premier processeur (inspection-filtrage, filtres émigration, etc.), l'arrivée des passagers est régulée par le débit des modules précédents, les temps de parcours entre les différents points de passage et des facteurs aléatoires : un passager peut faire un détour par les commerces, attendre avant de s'ajouter dans une file lorsque celle-ci est longue et qu'il est en avance, etc.
- à l'arrivée d'un avion, le débarquement reste l'un des seuls phénomènes où la part aléatoire reste très réduite : le trajet et le débit des passagers à l'arrivée sont parfaitement encadrés jusqu'à la salle de livraison des bagages.

4.4.1.2. Discipline de sélection des passagers

Le premier passager d'une file est le premier servi, il n'y a pas de règle de sélection différenciée par passager dans une même file.

À noter que la banalisation/centralisation des équipements et le développement des files d'attente serpentes communes à une série d'équipements (par opposition aux files d'attente linéaires individuelles face à chaque équipement) ne sont pas sans conséquences :

- avantages : une optimisation des ressources et un traitement équitable des passagers,
- désavantages : l'uniformisation de la qualité de service peut être mal perçue par certaines compagnies, qui par exemple n'acceptent pas que leurs passagers affaires risquent de rater un vol à cause de l'engorgement des PIF provoqué par d'autres vols à bas coût opérés par une compagnie concurrente.

4.4.1.3. Nombre d'équipements

C'est un paramètre aisé à définir. La simulation permet d'introduire un facteur aléatoire pour simuler une panne d'équipement, ou de gérer l'allocation des ressources (ouverture/fermetures d'équipements).

4.4.1.4. Temps de traitement

C'est la loi qui définit le temps de traitement des passagers par un équipement. Généralement stochastique, elle peut aussi être fonction des facteurs liés aux passagers (cf. partie 4.3.3.).

4.4.1.5. Capacité de stockage de la file d'attente

La capacité de stockage, qui est la donnée observée en « sortie », peut être gérée de deux façons selon l'objectif de la simulation :

- si la file d'attente est circonscrite à un espace limité : la donnée observée est alors un ratio d'allocation d'espace (correspondant à un niveau de service), égal à la surface de cet espace divisée par le nombre de passagers présents dans la file,
- si l'espace est « virtuellement » illimité : la donnée observée est alors l'espace occupé par la file d'attente, déduite du nombre de passagers présents dans la file et d'un ratio d'allocation d'espace fixé à l'avance (considérant que sans contrainte particulière les passagers vont naturellement se rapprocher d'un niveau de service « bon » par exemple).

4.4.2. Hypothèses

Pour l'approche simplifiée sur l'exemple développé ci-après, les hypothèses suivantes sont faites

0. Programme de vols :

- vol 1 : international, 350 pax, heure de départ 9h20, heure de début de l'enregistrement 7h20,
- vol 2 : Schengen, 120 pax, heure de départ 9h00, heure de début d'enregistrement 7h30,

1. Lois d'arrivée des passagers :

- ils se présentent dans l'aérogare conformément aux courbes moyennes types de présentation,
- un passager au départ se rend immédiatement à l'enregistrement dès son entrée dans l'aérogare. Tous les passagers qui se sont présentés trop tôt se rendent immédiatement et simultanément à l'enregistrement dès son ouverture,
- un passager, après avoir été enregistré, se rend immédiatement aux PIF (temps de parcours entre la zone enregistrement et les PIF : 5 minutes pour tous les passagers),
- aucun phénomène de répartition aléatoire.

2. Discipline de sélection des passagers :

- Le premier de la file est le premier traité,
- Pas de mélange de passagers à l'enregistrement : un vol = une file d'attente,

3. Nombre d'équipements :

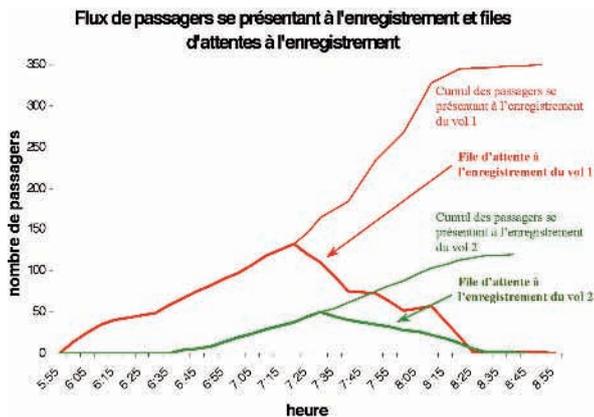
- 8 banques affectées au vol 1,
- 2 banques affectées au vol 2,
- 4 PIF centralisés communs aux deux vols.

4. Temps de traitement :

- enregistrement : 60 secondes/pax Schengen (vol 2) et 90 s/pax international (vol 1),
- inspection-filtrage : 40 secondes/pax,

4.4.3. Formation et résorption de files d'attente

Le graphique suivant représente le cumul des passagers au départ se présentant à l'enregistrement et le nombre de passagers dans les files d'attente pour les vols 1 et 2.



Les files d'attente s'allongent ou diminuent en fonction de la différence entre le débit « entrant » (ici, le flux de passagers se présentant à l'enregistrement) et le débit « sortant » (le flux de passagers enregistrés). Plusieurs enseignements essentiels sont à tirer de ce graphique :

1. Le vol tourisme de 350 passagers correspond à un flux horaire ne dépassant pas 212 passagers par heure se présentant à l'enregistrement (flux maximal observé entre 1h00 et 2h00 avant l'heure de départ). On observe une proportion analogue pour le vol régulier de 120 passagers (flux maximal de 76 passagers entre 0h40 et 1h40 avant le vol). Autrement dit, moyennant l'hypothèse de présentation des passagers conforme aux courbes de présentation types, **le flux horaire maximum de passagers au départ généré par un vol est égal à environ 2/3 de l'emport de ce vol.**

Note : cette proportion varie selon le type de vol (elle peut atteindre 100 % pour un vol régulier court-courrier où les passagers se présentent peu en avance).

2. La longueur maximale atteinte par la file d'attente à l'enregistrement pour le vol de 350 pax est de 133 pax. Celle atteinte par le vol de 120 pax est de 50 pax. Ce qui signifie que, **dans ces conditions bien précises de régularité du flux, une surface d'attente prévue pour accueillir la totalité du flux horaire aurait été surdimensionnée.**

L'échelonnement des arrivées dans le temps permet de limiter l'augmentation des files d'attente. Cela illustre l'effet bénéfique du pré-filtrage, ce contrôle des billets avant l'accès aux files d'attente à l'enregistrement permet d'une part d'éviter la présence d'accompagnants dans les files, et d'autre part de réguler le flux entrant pour limiter la formation des files d'attente.

3. Une troisième observation peut être faite : les flux générés par un vol peuvent s'étaler sur une période supérieure à 1 heure. Ce qui signifie que **dans le cas d'un enregistrement banalisé dont les files d'attente accueilleraient les passagers de plusieurs vols, il est vital de prendre en compte les trafics de pointe aux heures précédant et suivant l'heure de pointe de référence.** Si l'heure de pointe est totalement isolée (les trafics aux heures précédant et suivant cette heure de pointe sont très faibles), le cas présente peu de difficultés dès lors que les courbes de présentation des passagers sont connues. En revanche, si les heures précédant et suivant l'heure de pointe de référence sont chargées, cela crée une demande additionnelle qu'il faut prendre en compte. Ce phénomène peu visible sur ce graphique en raison du nombre réduit de vols peut néanmoins être très sensible, avec jusqu'à 60 % de passagers additionnels. D'où l'intérêt, en simulation, de considérer des périodes de temps plus larges (de quelques heures à une journée représentative complète).

4.4.4. Nombre de passagers en attente et temps d'attente maximal

La figure suivante représente le diagramme cumulatif des passagers entrant et sortant de la zone enregistrement pour un vol donné.

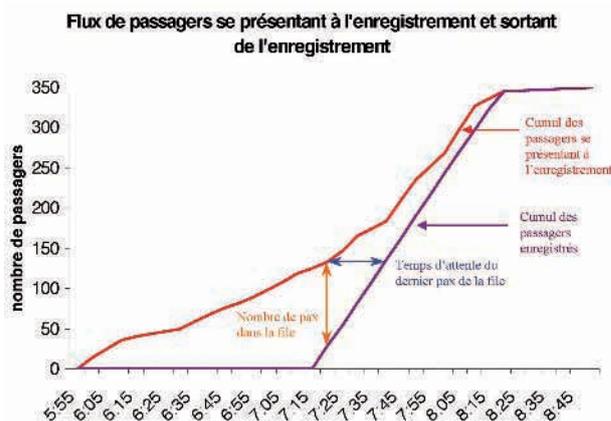
Note: La courbe représentative des passagers « sortants » est une droite, puisque le nombre de passagers traités par unité de temps ne dépend que du nombre d'équipements et du temps de traitement, qui sont fixes ici. Dans une véritable simulation, cette courbe subirait des évolutions aléatoires dues à la variabilité des temps de traitement.

Cette figure permet de visualiser graphiquement à un instant T :

- **horizontalement, en bleu :** le temps d'attente du dernier passager de la file,
- **verticalement, en orange :** le nombre de passagers présents dans la file.

Le temps maximal d'attente coïncide avec le nombre maximal de passagers présents dans la file pour cet enregistrement (puisqu'il n'y a pas de facteur aléatoire dans le temps de traitement des passagers).

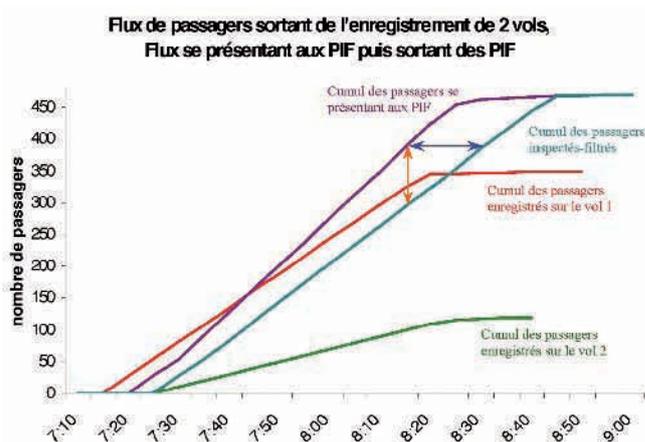
Attention: si certains passagers se présentent avant même l'ouverture des banques, cela n'a pas de sens de comptabiliser leur temps d'attente avant le début de l'enregistrement.



4.4.5. Cumul et écoulement des flux de passagers

Les diverses courbes de flux de passagers entrant et sortant des modules de la fonction trafic permettent de visualiser la façon dont se cumulent ces flux et comment ils s'écoulent.

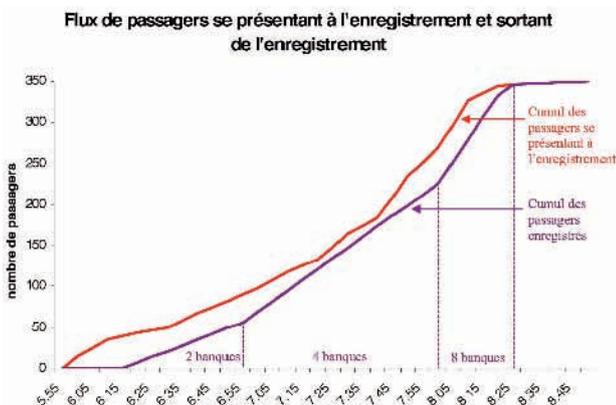
Dans le cas présent, les PIF centralisés traitent les flux provenant des banques d'enregistrement de deux vols. Une lecture graphique montre qu'à partir de 7h30 (début du 2^{ème} enregistrement), le débit des PIF est insuffisant pour écouler ce cumul. Le nombre de passagers présents dans la file et le temps d'attente maximal s'allongent, jusqu'à 8h20, heure à laquelle le débit de l'enregistrement faiblit et permet aux PIF d'absorber l'excès de passagers.



4.4.6. Gestion dynamique des ressources

Considérant le même cas qu'en 4.4.4., le diagramme suivant présente une façon différente d'utiliser les ressources pour optimiser à la fois le coût et la qualité de service. Au lieu d'ouvrir les 8 banques d'enregistrement de 7h20 à 8h50, la compagnie choisit d'ouvrir 2 banques de 6h20 à 6h55, puis 4 banques de 6h55 à 8h00, puis 8 banques de 8h00 à 8h25 puis de réduire à 2 banques jusqu'à 8h50, heure de fermeture de l'enregistrement.

La courbe cumulative des passagers sortants est donc linéaire par morceaux, la pente dépendant du nombre d'équipements mobilisés sur une période donnée.



1. Première observation: l'ouverture anticipée des banques d'enregistrement, même en faible nombre, permet d'éviter l'accumulation de passagers et limite finalement le nombre maximum de passagers dans la file d'attente à 48, soit un temps d'attente maximal de moins de 10 minutes pour le dernier passager (contre 133 pax et 25 minutes d'attente en 4.4.4.).

2. Deuxième observation: le temps de fonctionnement cumulé des banques (exprimé en minutes x agents) des banques d'enregistrement, qui représente le temps d'activité et donc le « coût » de la ressource, est inférieur à celui du cas étudié en 4.4.4. d'environ 20 %.

Conclusion: l'ouverture anticipée de l'enregistrement et l'optimisation de l'affectation des ressources a permis à la fois de réduire les coûts d'exploitation et d'améliorer la qualité de service pour les passagers.

Cet exercice, très rudimentaire ici, illustre à titre purement théorique un type de résultat que l'on ne peut obtenir qu'à partir d'une simulation.

4.5. Outils de simulation disponibles sur le marché

L'objet de cette partie est de fournir à titre indicatif une liste d'outils de micro-simulation directement applicables à la capacité des aéroports disponibles sur le marché.

En raison de l'évolution très rapide et de la mise à jour régulière des logiciels, les fonctionnalités exactes de ces outils ne sont pas données. Sauf précision contraire, ces logiciels sont conçus pour la simulation microscopique en temps réel ou accéléré avec visualisation des flux.

Bien évidemment, les contacts donnés peuvent également changer.

Note: il existe des outils de simulation génériques de processus industriels qui sont utilisables dans le domaine aéroportuaire (ARENA, AUTOMOD, etc.). Ces outils ne sont pas mentionnés ici: seuls des logiciels spécifiquement aéroportuaires sont listés.

ARCport Terminal

Logiciel distribué par Aviation Research Corporation.

Contact	<p>K. Romi Singh - President Tel: (360) 945-2962 Fax: (360) 945-2974 krsingh@arc-us-ca.com/info@arc-us-ca.com www.arc-us-ca.com</p>
---------	---

CAST Terminal

Logiciel distribué par Airport Research Center.

Contact	<p>Raimo Jacobson – Managing partner Tel: +49 241 16 843-14 Fax: +49 241 16 843-19 Raimo.jacobson@arc-aachen.de/mail@airport-consultants.com www.airport-consultants.com</p>
---------	---

Samantha - PAXSIM (Samantha - airport simulation & capacity management)

Logiciel distribué par Incontrol Enterprise Dynamics

Contact	<p>Guus de Ruiter – Project manager Airports and Airlines Tel: +31 (0) 346 55 25 00 Fax: +31 (0) 346 55 24 51 guus.de.ruiter@enterprisedynamics.com www.EnterpriseDynamics.com</p>
---------	---

PaxSim

Logiciel distribué par Preston Aviation Solutions

Contact	<p>Ian SIMPSON – European Business Development Manager Tel: +44 207 484 5234 Fax: +44 207 484 4951 guus.de.ruiter@enterprisedynamics.com www.preston.net</p>
---------	--

TotalAirportSim

Logiciel développé conjointement par IATA et Lti

Contact	Chris Mirfin – Assistant Director, Airport Consultancy Services, IATA Tel: 1 (514) 874 0202 Fax: 1 (514) 874 2 662 airportdev@iata.org
---------	--

PAX2SIM

Logiciel développé par Simcore SARL

Outil de simulation sans visualisation. Le logiciel est orienté vers une approche simplifiée sans visualisation, adaptée à la programmation ou à la gestion de ressources. Les données de sorties sont sous forme de graphiques ou tableaux.

Contact	Jacques NATCHIA-KOUAO Tél.: +33 (0) 1 42 37 00 67 Jacques.natchia@simcore.fr www.simcore.fr
---------	--

5 De la capacité horaire à la c

5.1. Qu'est-ce que la « capacité annuelle »

Les méthodes les plus précises d'estimation de la capacité évaluent la capacité horaire en passagers: c'est une donnée « technique » utile pour l'exploitation ou l'aménagement de l'aérogare. Il est intéressant pour les gestionnaires de transcrire ces résultats en données économiques, à savoir le nombre de passagers que peut écouler l'aérogare, ou « capacité annuelle ».

La capacité annuelle est le débit maximal de passagers qui peut être écoulé par un aéroport au cours d'une année, en considérant la structure de son trafic, ses pratiques d'utilisation, compte tenu d'un certain niveau de qualité de service et dans le respect des règles de sécurité et de sûreté.

Il serait absurde de considérer que la capacité annuelle d'une aérogare est égale à la capacité horaire multipliée par le nombre d'heures d'ouverture de l'aéroport. Le trafic passager connaît en effet des phénomènes saisonniers et des variations journalières. Concrètement, pour un terminal « vols charters », une capacité horaire de 1000 pax/h au départ pourra correspondre à une capacité annuelle de 3,5 millions de pax, tandis que pour un terminal « vols régulier zone Schengen », une capacité horaire de 1100 pax/h représentera 6 millions de pax/an.

5.2. Relation simplifiée entre trafic annuel et trafic à l'heure de pointe

La relation entre le trafic annuel T_a et le trafic à l'heure de pointe de référence T_p est un phénomène complexe dépendant de nombreux paramètres dont: la structure du trafic en passagers et en mouvements avions, son évolution, les caractéristiques des infrastructures, les spécificités d'exploitation de l'aérogare, etc.

À titre d'exemple, on peut citer trois relations de corrélation simplifiées issues de benchmark de nombreux aéroports. Celles-ci ne peuvent être utilisées que comme des repères par rapport auxquels placer des prévisions, non comme des formules miracles:

Référence	Corrélation Trafic annuel/trafic à l'heure de pointe de référence	
Airport systems - Planning, design and management, De Neufville & Odoni, 2003	$T_p \approx T_a/3000$ $T_p \approx T_a^* 3/10000$ (avec T_p en pax et T_a en Mpax)	pour un trafic de l'ordre de 7 Mpax pour un trafic de l'ordre de 25 Mpax
Airport engineering 3 rd edition Ashford & Wright, 1989	nombre total de passagers par an - Plus de 30 Mpax - 20 Mpax à 29 Mpax - 10 Mpax à 19 Mpax - 1 Mpax à 9 Mpax - 500 000 pax à 1 Mpax - 100 000 à 499 999 pax - Moins de 100 000 pax	Trafic à l'heure de pointe de réf. en % du trafic annuel - 0,035 - 0,040 - 0,045 - 0,050 - 0,080 - 0,130 - 0,200
Heures de pointe STAC, 1981	Formule dite « de la 40 ^{ème} heure », dont le principe sera détaillé dans la partie suivante: (avec T_p en pax et T_a en Mpax) $T_p \approx 400 + 315.T_a$	

T_p = flux de passagers arrivées + départs à l'heure de pointe de référence

Note: Le rapport T_p/T_a diminue généralement avec l'augmentation du trafic annuel. Autrement dit, la variabilité tend à diminuer quand le trafic augmente.

capacité annuelle

La capacité d'une aéro-gare est évaluée en raisonnant sur le trafic à l'heure de pointe de référence. En situation de saturation, T_p est donc égal à la capacité technique horaire. De même, en situation saturée, T_a est égal à la capacité annuelle. Comme les relations sont linéaires, **en première approche** et pour une situation « quasi saturée » :

$$\frac{\text{Capacité annuelle}}{\text{Capacité horaire}} \approx \frac{\text{Trafic annuel}}{\text{Trafic à l'heure de pointe de réf.}}$$

Les relations simplifiées du tableau précédent sont donc applicables pour corrélérer très approximativement la capacité horaire et la capacité annuelle d'une aéro-gare.

5.3. Formule de la 40^{ème} heure

5.3.1. Principe et formule

La méthode utilisée communément en France est la formule dite de « la 40^{ème} heure ». Cette méthode date des années 80 mais est encore utilisée communément aujourd'hui.

La formule de la 40^{ème} heure permet d'évaluer la capacité annuelle à partir du trafic horaire passagers (arrivées + départs) de référence. Elle est issue de l'analyse de la courbe des débits classés des heures d'un aéroport. Cette courbe révèle (cf. partie 1.4.1.) que les vingt premières heures de débit subissent des variations irrégulières, mais qu'à partir de la 30^{ème}, voire de la 40^{ème} heure, leur évolution est régulière. Il est ainsi possible de trouver une relation entre cette heure stable (la 40^{ème}) et le trafic annuel.

Une analyse statistique de plusieurs aéroports européens entreprise par le STBA en 1981 a permis effectivement d'établir cette relation pour le trafic passagers :

$$T_p = 400 + 315.T_a \quad \text{soit} \quad T_a = \frac{T_p - 400}{315}$$

avec

T_p = trafic passagers en 40^{ème} heure de pointe (Arrivée + Départ + Transit)

T_a = trafic annuel en millions de passagers (Arrivée + Départ + Transit)

5.3.2. Adaptation de la formule

La validité de ces coefficients, établis en 1981 sur la base de données de trafic aérien des années 70, est très discutable pour les aéroports actuels dont le trafic a considérablement évolué, en structure aussi bien qu'en volume. Néanmoins, le principe d'établir une relation linéaire entre le trafic annuel et le trafic à la 40^{ème} heure reste valide.

La formule précédente peut donc être adaptée au moyen d'une régression linéaire simple à partir de données de trafic sur les dernières années d'exploitation (au moins 5 ans). Cela permet de déterminer les coefficients A et B propres à l'aéro-gare considérée dans la relation :

$$T_p = B + A.T_a$$

Note : il est également possible de réaliser une péréquation à partir des données d'aéro-gares comparables pour déterminer les coefficients lorsque le trafic n'est pas connu.

5.4. Relation avec le nombre de mouvements avions

Il est parfois utile d'évaluer la capacité d'une aérogare en « mouvements avions équivalents » pour la comparer avec les capacités du côté piste. Cela revient à transcrire une capacité exprimée en nombre de passagers par heure (arrivée et/ou départ) en une capacité exprimée en mouvements avions (arrivée et/ou départ). On peut relier ces heures de pointe par la relation :

$$N_{\text{pax. HP}} = N_{\text{HP}} \cdot N_{\text{mvt. HP}}$$

$N_{\text{pax. HP}}$ = nombre de passagers à l'heure de pointe de référence

$N_{\text{mvt. HP}}$ = nombre de mouvements avions à l'heure de pointe de référence

N_{HP} = nombre moyen de passagers par mouvement (emport moyen) à l'heure de pointe de référence

Dans le cas où l'emport moyen à l'heure de pointe n'est pas connu, une approximation peut être faite à partir de l'emport moyen annuel.

Le nombre de passagers par mouvement en heure de pointe est supérieur, de l'ordre de 15 %, à la moyenne annuelle du nombre de passagers par mouvement. En effet, le taux de remplissage des avions et leur module moyen augmentent pendant les périodes de pointe :

$N_{\text{pax. HP}}$ = nombre de passagers en heure de pointe passagers

$N_{\text{mvt. HP}}$ = nombre de mouvements en heure de pointe mouvements

N = nombre moyen de passagers par mouvement (emport moyen) sur l'année

$$N_{\text{pax. HP}} = 1,15 \cdot N \cdot N_{\text{mvt. HP}}$$

Attention : 1 mouvement avion = 1 arrivée ou 1 départ. Par ailleurs, pour tenir compte des passagers en correspondance, ce sont les flux de passagers embarquant ou débarquant des avions (et non entrant ou sortant de l'aérogare) qui doivent être comptabilisés.

6 Perspectives et voies de recherche

6.1. Facilitation

La « facilitation » désigne l'ensemble des mesures visant à simplifier les formalités que le passager doit accomplir au départ et à réduire au minimum le nombre de contrôles et les temps d'attente associés. La qualité de service passe aujourd'hui, pour certaines catégories de passagers, par le fait de maîtriser son temps et d'être autonome d'un bout à l'autre de la chaîne de traitement.

Les modules principalement concernés sont les formalités au départ depuis l'arrivée dans l'aérogare jusqu'à l'accès à la zone embarquement : enregistrement, filtre sûreté, contrôle émigration.

6.1.1. L'aéroport du futur

L'évolution de la technologie permet d'envisager dans un avenir proche de nouveaux moyens au service de la facilitation : de plus en plus d'autonomie donnée aux passagers, des files d'attente quasi inexistantes, un trajet dans l'aérogare fluide et agréable, etc. Les grands aéroports rivalisent d'innovations pour optimiser leur capacité tout en améliorant la qualité de service offerte aux passagers.

6.1.1.1. Enregistrement

Le premier module concerné est l'enregistrement, avec le développement de nouvelles technologies plus ou moins ciblées sur certaines catégories de passagers ou de compagnies. La complémentarité de ces différents moyens permet d'améliorer l'efficacité de l'enregistrement et d'optimiser les espaces :

- CUTE system (Common Use Terminal Equipment) : l'ensemble des banques d'enregistrement sont exploitées sur un système unique, compatible avec tous les systèmes de réservation et de contrôle des départs des compagnies aériennes,
- Bornes Libre-service (BLS) : elles permettent aux passagers de s'auto-enregistrer avec ou sans bagages ; les éventuels bagages sont ensuite déposés sur un tapis. Ces BLS peuvent être spécifiques à une compagnie ou mutualisées (CUSS kiosks - Common Use Self-service kiosks). Certaines peuvent être connectées à internet et permettre l'achat d'un billet (compagnies low-cost).
- Enregistrement mobile : des aéroports expérimentent des dispositifs d'enregistrement réalisés par des agents sur des équipements portatifs, permettant de renforcer la capacité d'enregistrement dans certaines zones pendant les heures de pointe.
- Enregistrement éloigné : les passagers peuvent s'enregistrer en dehors de l'aérogare. Des banques ou BLS peuvent être mises en place par exemple directement sur le parvis en front d'aérogare, dans les centres intermodaux (gare ou gare routière) mais aussi beaucoup plus loin, dans les hôtels ou centres de conférence ; c'est un dispositif encore contraignant pour les compagnies qui doivent mobiliser du personnel sur place et respecter les principes de sûreté,
- Enregistrement par internet : ce moyen apparaît pour certaines compagnies comme celui qui devrait détrôner tous les autres, car il peut être réalisé de chez soi et accompagnerait logiquement le développement de l'achat de billet sur internet.
- Enregistrement par téléphone mobile : le téléphone portable peut être utilisé comme support de stockage d'informations liées au vol (code-barre de carte d'embarquement par exemple) mais aussi comme outil d'information du passager en temps réel sur demande, etc.
- Dépôt de bagage automatisé : ce dispositif permet au passager d'effectuer de façon autonome (mais sous surveillance du personnel) la pesée. L'enregistrement des bagages et l'étiquetage, trop complexes, nécessitent l'intervention de personnel (la durée de l'opération étant réduite lorsque le passager s'est enregistré auparavant par un des moyens listés ci-dessus).



Outre la réduction du nombre de personnels nécessaires, les avantages en termes de capacité et de qualité de service sont multiples :

- CUTE: plus de flexibilité d'exploitation, productivité accrue (jusqu'à 25 % d'augmentation du débit),
- Enregistrement éloigné: dispersion de la demande à l'heure de pointe et éloignement du hall enregistrement (tous les passagers ne font pas la queue au même endroit), de plus le passager dépose son bagage plus tôt: il peut ensuite franchir de plus grandes distances à pieds,
- Bornes: réduction du temps de transaction et de dépose des bagages, flux libre (pas ou peu de queue aux kiosques), gain d'espace et optimisation (les bornes peuvent être implantées partout, y compris par exemple au niveau des parkings sur l'esplanade, etc.),
- Séparation des flux: d'un côté les transactions simples et rapides (ce qui permet d'améliorer la qualité de service pour les passagers les plus habitués), de l'autre les transactions plus longues et compliquées.

La mise en place de ces divers moyens pour l'enregistrement peut permettre de gagner jusqu'à 80 % de capacité à l'heure de pointe sans augmentation de surface.

6.1.1.2. Filtres



La reconnaissance biométrique par divers moyens (caractéristiques de l'œil, empreintes digitales, caractéristiques du visage, caractéristiques de la main, empreinte vocale) et la validation automatisée des passeports permet d'automatiser partiellement les contrôles transfrontaliers, donc de fluidifier le passage de la zone publique à la zone embarquement.

Ces progrès s'adressent en priorité aux usagers fréquents du transport aérien, ils mettent généralement en œuvre des programmes de fidélisation de la clientèle.

6.1.1.3. Embarquement automatisé

Certaines compagnies travaillent sur des processus d'embarquement automatisé ou semi-automatisé, l'enjeu étant de réduire le personnel nécessaire, diminuer les temps d'embarquement, et mutualiser les équipements.

6.1.1.4. Accompagnement des passagers

Il est nécessaire de soigner l'information lors de la mise en place de ces améliorations, et très souvent d'affecter du personnel des compagnies ou de l'aéroport pour gérer les flux, orienter, pré-filtrer, expliquer, etc. Au niveau des filtres de sûreté par exemple, il est constaté que l'utilisation de vidéos de préparation (expliquant les formalités, les gestes à accomplir et documents à présenter) permet d'en augmenter très significativement le débit, tout en améliorant la satisfaction des passagers.

6.1.2. À plus long terme: le principe de « point de contrôle unique »

L'enjeu de la facilitation fédère au niveau international l'ensemble des acteurs clé du transport aérien autour du programme « Simplifying Passenger Travel » (SPT):

- les compagnies veulent offrir un meilleur niveau de service à leurs clients,
- les gestionnaires veulent une utilisation plus efficace de leurs infrastructures,
- les douanes et l'immigration veulent des contrôles améliorés et une optimisation de leurs ressources,
- l'Etat veut un système de transport alliant efficacité, sécurité et sûreté,
- les passagers veulent un voyage sans contraintes,

et tous veulent réduire leurs coûts.

Le programme SPT est centré sur le principe de « one-stop check »: le passager, muni de son billet électronique et

d'un badge multi-fonctionnel à identification biométrique, effectue l'ensemble des formalités de départ (enregistrement, contrôle transfrontalier, contrôle de sûreté) en un point de contrôle unique. L'identification biométrique du passager permet d'adapter le niveau des divers contrôles (en fonction d'une évaluation du « risque » représenté par ce passager, ou plutôt sur la base d'une liste de passagers « de confiance »).

En termes de capacité, les implications sont difficiles à imaginer à ce jour. Le regroupement des modules de traitement limiterait le nombre de « points durs » dans l'aérogare et la multiplication des files d'attente. Mais d'un autre côté, en plus des questions d'éthique, le projet soulève des interrogations : quels seront les temps de traitement associés ? Quelles catégories de passagers auront accès à ces systèmes ? Sur quels critères sera faite l'évaluation du « risque passager » ?

6.2. Gestion dynamique de la capacité

6.2.1. Optimiser la conception et la gestion opérationnelle

La procédure classique de conception et d'exploitation d'un aéroport, sur laquelle sont basées les méthodes décrites dans le présent manuel, conduit souvent soit à des infrastructures surdimensionnées, coûteuses en exploitation et en maintenance, soit à une qualité de service dégradée et une insatisfaction des passagers. Parfois, l'espace global suffirait à répondre aux besoins, mais un mauvais équilibre des surfaces crée des disparités de qualité de service entre différentes zones de l'aérogare.

La démarche conventionnelle de dimensionnement basé sur l'estimation du trafic de pointe de référence ne permet pas de répondre aux phénomènes accidentels de simultanéité, aux variations aléatoires des flux, en d'autres termes à toutes les situations où le trafic est différent.

Ce différentiel entre la capacité et la demande a un coût : une sur-capacité représente des dépenses inutiles d'investissement, la sous-capacité a un coût commercial (de plus il est très contraignant et coûteux de réaménager une infrastructure existante).

Une philosophie différente peut être adoptée, basée sur l'utilisation optimale des ressources et la gestion des flux de passagers. Il s'agit, au stade de la conception, de mener en parallèle la planification physique des ressources, espaces et équipements avec la planification opérationnelle concernant leur mode d'utilisation.

A l'heure actuelle des outils d'optimisation et de recherche opérationnelle, couplés aux méthodes microscopiques d'évaluation de la capacité, permettent de proposer non pas un trafic de référence et un ensemble de caractéristiques opérationnelles fixes, mais une distribution de trafics et un éventail de modes d'exploitation possibles.

La capacité de l'aérogare (et de chacun des modules de traitement du passager) est alors fluctuante, elle s'adapte continuellement à la structure du trafic, suivant un principe de minimisation des coûts de sur-capacité/sous-capacité. Des systèmes de gestion des flux de passagers permettent de diminuer les temps d'occupation dans certaines zones (donc d'augmenter leur capacité) et de répartir les passagers de façon optimale dans les espaces. La modularité de l'aérogare est le facteur clé d'un tel concept.

6.2.2. Gestion en temps réel

Aujourd'hui des outils de suivi de la qualité de service en temps réel existent, par analyse d'image vidéo. Ils permettent par exemple d'obtenir des données fiables sur les niveaux de service, ou de contrôler le respect d'accords de qualité de service entre compagnies et gestionnaires d'aérogare.

Dans le futur, il n'est pas improbable que des dispositifs d'évaluation de la capacité en temps réel permettent de connaître et communiquer instantanément aux passagers (via leur téléphone mobile) le temps qu'ils mettront entre l'entrée de l'aérogare et la porte d'embarquement, incluant les temps d'attente aux diverses formalités, etc.

Le développement des technologies de suivi automatique par fréquence radio (RFID) pour les bagages, mais aussi pour les passagers, permet d'entrevoir des possibilités d'amélioration dans le domaine de la gestion des flux. Ces systèmes permettent à tout moment de situer dans l'aérogare un passager ou un bagage, et de connaître les informations utiles le concernant (origine et destination, etc.). Outre l'intérêt évident en termes de sûreté et de fiabilité pour le traitement des bagages, ces dispositifs pourraient faciliter l'optimisation de la gestion des flux en temps réel. Pourquoi ne pas imaginer qu'un passager en retard soit localisé puis rendu prioritaire aux filtres s'il est dans l'aérogare mais bloqué par une file d'attente ?

Références bibliographiques

Titre	Année	Auteur
Détermination de la capacité d'un aéroport	2005	STAC
Airport development reference manual (ADRM) 9 th edition	2004	IATA
Airport Systems	2003	De Neufville, Odoni
Airport Terminal reference manual (ATRM) 8 th edition	1995	IATA
Programmation des installations aéroportuaires - la livraison des bagages	1993	STBA/BAT
Methodology for the Assessment of Airport Capacity	1993	CE
Airport capacity/demand management	1990	IATA, AACC
ATRM 7 th edition	1989	IATA
Airport Engineering 3rd edition (chap. 10)	1989	Ashford, Wright
Les aéroports - éléments de conception et de dimensionnement	1983	STBA
Heures de pointe	1981	STBA

Conception: STAC/SINA groupe Documentation et diffusion des connaissances (DDC)

Photo de couverture: ©Photothèque STAC/Véronique PAUL

Photos intérieures: ©Photothèque STAC/Michel CASTERAN pages 35-41

Jean-Claude GUILPIN page 68

Daniel MUSSET pages 32-42

Alexandre PARINGAUX page 30

Véronique PAUL/Grafix pages 4-6-13-14-22-25-26-35-48

Gabrielle VOINOT pages 11-13-30-32-35-38-67

Autres sources:

CCI de Lyon-Saint-Exupéry page 10

DGAC-DAC SUD page 19

Avril 2010

Ressources, territoires, habitats et logement
Énergie et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

Présent pour l'avenir

service technique de l'Aviation civile
31, avenue du Maréchal Leclerc
94381 BONNEUIL-SUR-MARNE CEDEX
Tél. 33 (0) 1 49 56 80 00
Fax 33 (0) 1 49 56 82 19

Site de Toulouse
9, avenue du Docteur Maurice Grynfolgel - BP
53735
31 037 TOULOUSE CEDEX 1
Tél. 33 (0) 1 49 56 83 00
Fax 33 (0) 1 49 56 83 02

Centre de test de Biscarrosse
Centre d'essais de lancement de missiles - BP 38
40 602 BISCARROSSE CEDEX
Tél. 33 (0) 5 58 83 01 73
Fax 33 (0) 5 58 78 02 02