

Université  
de Toulouse

# THÈSE

## En vue de l'obtention du DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

**Délivré par :**

Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse)

**Discipline ou spécialité :**

Image, Informatique et Hypermédia

---

**Présentée et soutenue par :**

Kaffa Jackou Rakiatou Christelle

**le :** lundi 29 novembre 2010

**Titre :**

Contribution à la Gestion des Opérations de la Sûreté Aéroportuaire :  
Modélisation et Optimisation

---

### JURY

Marthon Philippe, Prof., Institut National Polytechnique de Toulouse (Président)

Hanafi Said, Prof., Université de Valenciennes (Rapporteur)

Faulin Javier, Prof., Université de Navarre (Rapporteur)

Cosenza Carlos Alberto Nunes, Prof., Université Fédérale de Rio de Janero, (Membre)

Hochon Jean Claude, Ingénieur, Airbus (Membre)

---

**Ecole doctorale :**

Mathématiques Informatique Télécommunications (MITT)

**Unité de recherche :**

Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT)

**Directeur(s) de Thèse :**

Mora Camino Félix, Prof., LAAS/CNRS Toulouse

Batatia Hadj, MCF, INP Toulouse

**Rapporteurs :**

Hanafi Said, Prof., Université de Valenciennes

Faulin Javier, Prof., Université de Navarre

**Contribution à la Gestion des Opérations  
de la  
Sûreté Aéroportuaire :  
Modélisation et Optimisation**

Par

Rakiatou Christelle Kaffa-Jackou

Ingénieur EAMAC

## *Remerciements*

*A*

mes directeurs de thèse,  
Dr MORA Félix Camino et BATATIA Hadj , MCF

*AUG*

Rapporteurs Pr Faulin Javier , Président du Jury , Pr Saïd Hanafi et les membres du Jury , le  
Pr Marthon Philipe, le Pr Consenza Carlos Nunes et Mr Jean Claude Hochon , ingénieur

*A*

Mes parents Sanoussi et Françoise Jackou  
mes Fils Karim, Ismaël, Yacine , Khalid et Hamed et leur papa Hamadou Kaffa, mon époux ;  
Mes sœurs Hadiza, Maïmouna, Safiatou, Nafissa et leurs familles.

*A*

Feu Idé Belle pour son aide précieuse.

*A*

Dr Baba Ouattara Quinteini , Dr Moussa Tchiroma et Mr Bachir Korgom tous à l'EAMAC  
Mr le Ministre Talaki et Dr Ganemtoré à la CEDEAO

*A*

Ma famille AURA Toastmaster

A tous ceux qui m'ont aidé et soutenu dans réalisation de cette thèse, depuis mon  
apprentissage de l'écriture jusqu'à ce jour.



# TABLE DE MATIERES

# Table de matières

<b>I.- CHAPITRE I INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>II.- CHAPITRE II INTRODUCTION A LA SURETE DU TRANSPORT AERIEN</b>	<b>5</b>
II.1- Introduction .....	6
II.2- Définitions générales .....	6
II.3- Sûreté et sécurité	7
II.4- Classifications et atteintes à la sûreté aérienne	9
II.4.1 Typologie des atteintes à la sûreté aérienne .....	9
II.4.2 Les modalités des atteintes à la sûreté aérienne.....	9
II.5 Quelques exemples d'atteinte à la sûreté dans le transport aérien	11
II.6 Conclusion	14
<b>III.-Chapitre III L'INSPECTION FILTRAGE DES PASSAGERS DANS UNE AÉROGARE</b>	<b>16</b>
III.1 Introduction	17
III.2 Les flux dans l'aéroport	17
III.2.1 Circulation du personnel de l'aéroport , des com pagnies aériennes et des entreprises de service	17
III.2.2 Circuit pour les passagers et les bagages à main	18
III.3 Description générale de l'inspection-filtrage	21
III.4 Procédures de contrôle au poste d'inspection-filtrage (PIF)	24
III.4.1 Les procédures de contrôle des personnes	23
III.4.2 Les procédures d'inspection filtrage des bagages de cabines, autres biens et produits	25
<b>III.5 les différents systèmes d'inspection-filtrage</b>	<b>27</b>
III.5.1 Principes généraux	27
III.5.2 Inspection/filtrage à la porte d'embarquement	28

III.5.3 Inspection/filtrage à l'entrée d'une salle d'attente	28
III.5.4 Inspection/filtrage à l'entrée d'un hall	29
III.5.5 Eléments d'analyse	29
III.6 Conclusion	31
<b>IV.-CHAPITRE IV MODÉLISATION LOGIQUE DU SYSTEME DE CONTRÔLE DES PASSAGERS</b>	<b>32</b>
IV.1 Introduction	33
IV.2 Construction du modèle logique	33
IV.3 Les ressources, les évènements et les états	34
IV.3.1 Les ressources mises en œuvre	34
IV.3.2 Etat de fonctionnement du système	36
IV.3.3 Evénements indésirables et contraintes	37
IV.4 Mise en œuvre du modèle	42
IV.4.1 Conditions d'initialisation	42
IV.4.2 Impact des défaillances de fonctionnement	43
IV.4.3 Vérification des conditions d'initialisation et des contraintes	44
IV.4.4 Illustration de la modélisation	45
IV.5 SCENARIOS	47
IV.5.1 Exemples de scénarios	46
IV.5.2 Evaluation d'un scénario	46
IV.6 Illustration de la mise en œuvre	49
IV.7 Conclusion	51

## **V.-CHAPITRE V APPROCHE PROBABILISTE DE L'ÉVALUATION DE LA SÛRETE AÉROPORTUAIRE 53**

V.1 Introduction	54
V.2 Evaluation probabiliste globale	54
V.3 Evaluation probabiliste des postes de contrôle	59
V.3.1 Evaluation probabiliste d'un système de contrôle avec pré-filtrage	59
V.3.2 Modèle probabiliste de performances	60
V.4 Optimisation probabiliste de l'affectation des passagers aux postes de contrôle	62
V.4.1 Minimisation de la probabilité de non détection sans pré-classification	62
V.4.2 Exemple d'application numérique	65
V.4.3 Optimisation de l'affectation avec présélection	68
V.4.4 Application numérique	70
V.5 Conclusion	71

## **VI.-CHAPITRE VI MODÉLISATION PAR LES RÉSEAUX DU SYSTÈME DE CONTRÔLE DES PASSAGERS 73**

VI.1 Introduction	74
VI.2 L'approche de modélisation adoptée	74
VI.2.1 Prise en compte de l'espace du terminal aéroportuaire	75
VI.2.2 Prise en compte du temps	77
VI.3 Hypothèses retenues pour la modélisation	77
VI.3.1 Modélisation des arrivées de passagers dans l'aérogare	77
VI.3.2 Modélisation du traitement des passagers dans l'aérogare	78
VI.4. Modélisation de la dynamique des flux dans le système de contrôle	80

VI.4.1	Dynamique des flux dans les arcs de circulation en entrée	80
VI.4.2	Dynamique des flux aux postes de contrôle	81
VI.5	Evaluation des performances du système de contrôle	82
VI.5.1	Confort des passagers	82
VI.5.2	Sécurité des passagers	83
VI.5.2.1	Efficacité aux postes de contrôle	83
VI.5.2.2	Efficacité par rapport aux cibles molles	85
VI.5.2.3	efficacité du contrôle des vols spéciaux de haute sécurité	86
VI.6	Illustration	87
VI.7	Conclusion	89
<b>VII.-CHAPITRE VII OPTIMISATION DE LA GESTION DES RESSOURCES DE LA SÛRETE AÉROPORTUAIRE</b>		<b>90</b>
VII.1	Introduction	91
VII.2	Formulation du problème d'optimisation	91
VII.3	La démarche retenue	94
VII.4	Optimisation locale par les compagnies aériennes	95
VII.5	affectation locale des ressources de contrôle	97
VII.6	coordination	98
VII.	Conclusion	99
<b>VII.-CHAPITRE VIII CONCLUSION GENERALE</b>		<b>101</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>		<b>104</b>

## ANNEXES

ANNEXE 1: ELEMENTS D'ORGANISATION DE L'AEROGARE	115
ANNEXE 2 : LE CADRE REGLEMENTAIRE ET OPERATIONNEL DE LA SÛRETE DES TERMINAUX DE PASSAGERS	123
ANNEXE 3 : ELEMENTS DE MISE EN ŒUVRE DE L'INSPECTION FILTRAGE	132
ANNEXE 4: PROGRAMME D'ÉVALUATION LOGIQUE DE LA SÛRETÉ	138
ANNEXE 5 SCÉNARIOS UTILISÉS POUR L'ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ	146

## RESUME

L'objectif principal de cette thèse consiste à apporter une contribution méthodologique à la gestion de la sûreté et de coût de la sûreté aéroportuaire.

Pour lutter efficacement contre les actes illicites, la norme 4.4.1 de l'annexe 17 à la Convention de Chicago stipule : Chaque État contractant adoptera des mesures pour que les passagers au départ de vols de transport aérien commercial et leurs bagages de cabine soient soumis à une inspection/filtrage avant l'embarquement dans un aéronef au départ d'une zone de sûreté à accès réglementé. L'inspection filtrage constitue un des points forts de la sûreté aéroportuaire.

Nous avons donc proposé un modèle logique du système de contrôle du flux des passagers au départ dans un aéroport. La finalité de ce modèle a permis de tester différents scénarios d'attaque du système, d'analyser le comportement du système dans ces conditions et d'en évaluer la perméabilité.

Nous nous sommes ensuite intéressés à l'évaluation du système de contrôle des flux de passagers à l'embarquement au travers d'une approche probabiliste. Ceci conduit à la formulation de problèmes d'optimisation permettant d'améliorer les performances du système de contrôle.

Afin de d'obtenir la modélisation mathématique des flux de passagers au départ dans une aérogare, nous avons introduit les facteurs temps et espace par rapport au modèle précédent afin de le rendre plus proche de l'opérationnel. Ce modèle adopte une structure en réseau pour décrire les processus de traitement et les transferts de passagers entre les différents sites du terminal, permet notamment de représenter les files d'attente et les temps d'attente infligés aux passagers.

Enfin, nous nous sommes intéressés à l'optimisation des affectations des ressources matérielles et humaines destinées au contrôle du trafic de passagers. Le modèle spatio-temporel développé précédemment est mis à profit pour quantifier de façon dynamique, l'attribution des ressources matérielles et humaines au niveau de l'inspection filtrage et surtout d'améliorer la qualité de service.

Finalement, la modélisation des performances de la sûreté a été réalisée suivant un point de vue probabiliste puis ensuite un point de vue dynamique et spatial. Dans les deux cas des

problèmes d'optimisation ont été formulés conduisant à la détermination de paramètres opérationnels permettant d'améliorer les performances du système.

Beaucoup reste à faire dans ce domaine et le développement d'outils de modélisation, d'analyse et d'aide à la décision tels que ceux qui ont été esquissés dans ce mémoire semble s'imposer pour assurer l'optimisation de l'affectation des ressources de la sûreté aéroportuaire et ainsi garantir non seulement la qualité du service de contrôle mais aussi le niveau de coûts en résultant.

mots clef : sûreté aéroportuaire, réseaux, modélisation, optimisation.

## SUMMARY

Since the tragic events of September 11, aviation security is jeopardized. Many measures were taken both from the standpoint of improved procedures for improving the performance of security officers and equipment safety. Despite the implementation of new procedures and new measures, many events have shaken the airport security system established by ICAO, these include, the latest of which is the attempt acts of unlawful interference in December 2009.

The main objective of this thesis is to contribute to methodological constraints security management and cost of airport security.

To fight effectively against illegal acts, the standard 4.4.1 of Schedule 17 to the Chicago Convention states: “Each Contracting State shall establish measures to ensure that passengers from flights of commercial air transport and their cabin baggage are subjected to screened before boarding an aircraft departing from an area of security restricted”.

The security check is then one of the highlights of airport security. We therefore propose a model system logic to control the flow of departing passengers at an airport. The purpose of this model was used to test different scenarios of attack system, analyze system behavior under these conditions and to assess permeability.

We are then interested in evaluating the system of controlling the flow of passengers boarding through a probabilistic approach. This then leads to the formulation of optimization problems to improve the performance of the control system. It is then possible to establish operational procedures leading to improved system performance of passenger screening.

To obtain the mathematical modeling of flow of departing passengers in a terminal, we introduced the factors of time and space relative to the previous model to make it closer to the operational. In this model, which adopts a network structure to describe the process and the transfer of passengers between the terminal sites, in particular allows to represent queues and waiting times inflicted on passengers.

Finally, we are interested in optimizing the allocation of human and material resources for the control of passenger traffic. The spatio-temporal model developed previously is used to quantify dynamically allocating human and material resources at the security check and especially to improve the quality of service. This optimization allows us to formulate effective policies to manage the short term.

Finally, modeling the performance of safety was performed according to a probabilistic point of view and then a dynamic perspective and space. In both cases the optimization problems were formulated based on the determination of operational parameters to improve system performance.

Much remains to be done in this area and the development of tools for modeling, analysis and decision support such as those outlined in this paper seems to be necessary to ensure optimal allocation resources for airport security and so ensure not only quality service but also control the level of the resulting costs.

## Liste des figures

<b>Figure 3.1</b>	Parcours des passagers dans une aérogare	PAGE18	
<b>Figure 3.2</b>	Circuit simplifié pour les départs	PAGE	19
<b>Figure 3.3</b>	Environnement du poste d'inspection filtrage	PAGE	21
<b>Figure 3.4</b>	Armement du PIF	PAGE	23
<b>Figure 3.5</b>	La procédure d'inspection filtrage	PAGE	26
<b>Figure 4.2 :</b>	Schémas logiques des contraintes auxiliaires	PAGE	40
<b>Figure 4.3 :</b>	Processus de vérification des conditions initiales	PAGE	44
<b>Figure 4.4</b>	Composition du système considéré dans l'illustration	PAGE	45
<b>Figure 4.5</b>	Les phases du processus de résolution	PAGE	47
<b>Figure 4.6</b>	Structure du terminal de passagers considéré	PAGE	50
<b>Figure 5.1</b>	Le système de traitement des passagers au départ	PAGE	55
<b>Figure 5.2</b>	traitement du flux des passagers	PAGE	56
<b>Figure 5.3</b>	Processus de traitement du système de sécurité	PAGE	59
<b>Figure 5.4</b>	Exemple de structure de contrôle	PAGE	57
<b>Figure 5.5</b>	Solution graphique du problème de répartition	PAGE	61
<b>Figure 5.6</b>	Exemple de structure de contrôle	PAGE	65
<b>Figure 5.7</b>	Frontière de Pareto pour l'efficacité du système	PAGE	68
<b>Figure 6.1</b>	Schéma général du terminal de passagers à l'embarquement	PAGE	75
<b>Figure 6.2.</b>	Exemple de réseau de traitement des passagers au départ	PAGE	76
<b>Figure 6.3.</b>	Efficacité du contrôle en fonction de l'intensité de travail	PAGE	84
<b>Figure 6.4.</b>	Structure générale du système	PAGE	87
<b>Figure 6.5</b>	Organisation des flux dans le terminal	PAGE	88
<b>Figure 6.6</b>	Arrivée des flux de passagers aux postes de check-in de XY	PAGE	88
<b>Figure 6.7</b>	Flux incident et résultant au poste $P_1$	PAGE	88
<b>Figure 6.8</b>	Flux à la porte d'embarquement A4 pour le vol XY786	PAGE	89
<b>Figure 7.1</b>	Structure générale du système de contrôle	PAGE	93
<b>Figure 7.2.</b>	Processus de recherche de la solution	PAGE	98
<b>Figure A2.1</b>	Les différentes zones associées à un terminal	PAGE	129

<b>Figure A4.1</b> Schéma du programme d'analyse logique	PAGE	138
<b>Figure A4.2</b> Représentation graphique de la structure de l'aéroport	PAGE	142

## Liste des tableaux

<b>Tableau 4.1</b> Eléments du vecteur de ressources X opérations de contrôle	PAGE 39
<b>Tableau 5.1</b> Distributions de probabilités adoptées	PAGE 65
<b>Table 5.2</b> Circuits de contrôle en phase II	PAGE 66
<b>Table 5.3</b> Durées de traitement aux postes de contrôle (en secondes)	PAGE 66
<b>Tableau 5.4</b> Solutions pour différents niveaux de demande	PAGE 67
<b>Table 5.5</b> Solutions pour différents niveaux de $P_{FA}^{\max}$ (demande= 1600 pax/h)	PAGE 68
<b>Tableau 5. 6</b> Distribution des passagers après pré-filtrage	PAGE 70
<b>Table 5.7</b> Solutions avec pré-filtrage pour différents niveaux de demande	PAGE 70
<b>Table 5.8</b> Solutions avec pré-filtrage pour différents niveaux de $P_{FA}^{\max}$	PAGE 71
<b>Tableau 6.1</b> Exemple de programmation de vols	PAGE 87

## ACRONYMS

**ADP** : Aéroport De Paris

**CE** : Communauté Européenne

**CEMAC** : Communauté Economique et Monétaire de l'Afrique Centrale

**CGD** : Charles De Gaulle

**EEI** : engins explosifs improvisés

**EEC** : engins explosifs de circonstance

**EDS** : système de détection des explosifs

**EEI** :engin explosif improvisé

**PIF** : poste d'inspection-filtrage

**OPJ** : l'officier de police judiciaire

**PROLOG** : PROgrammation LOGique

**PQA** : Programmation quadratique Airlines

**PLC** : Programmation logique Contrainte

**SPOT** : Screening of Passengers by Observation Techniques

**TSA** : Transportation Security Administration

**TIP** : Threat Image Projection

**TRA** : les aires de trafic

**IFPBS** : Inspection Filtrage des Passagers et Bagages Cabines

**IFPBC** : Inspection Filtrage des Passagers et Bagages de soute

**UEMOA** : Union Economique et Monétaire Ouest Africaine

**UE** : Union Européenne

**MAN** : les aires de manœuvre

**ENE** : les zones de génération d'énergie

**GTE** : les galeries techniques

**NAV** : navigation aérienne

**ZR** : zone réservée

**ZP** : zone publique

**PNS** : Plan National de Sureté

**PNCQS** : Plan National de Contrôle Qualité de Sûreté

**PNFS** : plan national de contrôle qualité de sûreté

**LP SOLVE** : Logiciel freeware de résolution de problème de programmation linéaire

# **CHAPITRE I**

## **INTRODUCTION GENERALE**

Le transport aérien est une activité de service qui est née au vingtième siècle et qui a accompagné et contribué au développement économique extraordinaire qu'a connu le monde pendant cette période et ceci malgré deux guerres mondiales et de nombreux conflits régionaux. De part sa nature, le transport aérien a toujours été très sensible aux questions de sécurité et de sûreté. Ceci a conduit à la recherche de l'exemplarité dans ce domaine dans l'industrie aéronautique productrice du véhicule de transport, l'avion. Si le vol commercial reste encore aujourd'hui soumis à des aléas mécaniques ou informatiques des systèmes embarqués de l'avion, dus soit à des erreurs de conception (chaque fois moins) , soit à des erreurs humaines ou à des conditions météorologiques adverses, cette modalité de transport présente aujourd'hui l'un des plus haut indices de sécurité.

A la question de la sécurité du transport aérien est venue se greffer, à la suite des conflits régionaux issues souvent de la décolonisation de larges régions du tiers monde (Afrique, Moyen orient, Asie du Sud Est) ou de problèmes politiques ou sociaux chroniques (Amérique du Sud, Amérique Centrale), la question de la sûreté. En effet cette modalité de transport présente des caractéristiques (sécurité du vol, transport de masse, transport dédié souvent aux classes sociales les plus aisées, aspect international) qui en font une cible pour les terroristes et déséquilibrés de toute sorte.

Ainsi au delà des activités de vérification des titres de transport des passagers, des mesures de contrôle visant la sûreté du transport aérien, chaque fois renforcées après de nouvelles atteintes à celle-ci, on été mises en œuvre dans les aéroports au cours des dernières décennies. Ceci a créé tout un secteur d'activité au sein des aéroports faisant appel à des équipements de contrôle chaque fois plus sophistiqués et à des équipes de sûreté chaque fois mieux entraînées. Les attentats du 11 septembre 2001 ont constitué une véritable douche froide puisqu'ils ont mis en évidence les failles que comportaient des systèmes de sûreté réputés jusqu'alors très fiables. Depuis, ceci a conduit à repenser complètement ce secteur d'activité aéroportuaire, à investir dans de nouveaux équipements mais aussi à redéfinir la formation spécialisée des agents de sûreté aéroportuaire. Tout ceci représente un surcoût très loin d'être négligeable pour le secteur du transport aérien, surcoût in fine supporté par les passagers.

Néanmoins beaucoup reste à faire et récemment encore, une autorité américaine s'exprimait ainsi « *Nous dépensons près de \$5 milliards chaque année dans les systèmes de filtrage passager et bagage, cependant des armes arrivent encore à être introduites dans les avions. Tandis que nous portons toute notre attention sur le développement de la sûreté, il est encore beaucoup trop facile pour un terroriste de s'infiltrer dans un avion avec une arme* » (Rep,

Bennie G. Thompson, Ranking Member, Committee on Homeland Security, U.S. House of Representatives, February 2005).

Ainsi le problème du coût de la sûreté aéroportuaire et de son management se pose de façon criante aujourd'hui. L'objectif principal de cette thèse consiste à essayer d'apporter une contribution méthodologique à cette question.

Ce mémoire de thèse se compose de six chapitres principaux :

- Le chapitre II introduit tout d'abord les principaux concepts et définitions de la sûreté aéroportuaire puis réalise une classification des atteintes à la sûreté aéroportuaire avant de présenter différents exemples d'atteinte à cette sûreté.
- Le chapitre III fait un bref panorama sur l'ensemble des systèmes de contrôle des passagers dans les aéroports et plus précisément sur les postes d'inspection-filtrage : moyens matériels et humains, réglementations et pratiques opérationnelles.
- Le chapitre IV propose un modèle logique du système de contrôle au départ des passagers dans un aéroport. La finalité de ce modèle est de permettre de tester différents scénarios d'attaque du système, d'analyser le comportement du système dans ces conditions et d'en évaluer la perméabilité vis à vis de différents types d'attaques
- Le chapitre V s'intéresse à l'évaluation du système de contrôle des flux de passagers à l'embarquement au travers d'une approche probabiliste. Il s'agit ici d'organiser au mieux les flux de passagers à l'embarquement compte tenu des performances probabilistes des éléments qui constituent, le système de contrôle. Après l'établissement d'un modèle d'évaluation global basé sur un traitement série indifférencié des passagers, on s'intéresse plus particulièrement à une structure de contrôle à deux étapes qui met en évidence l'intérêt de réaliser des pré-filtrages et d'organiser les passagers par groupes séparés. Ceci conduit alors à la formulation de problèmes d'optimisation permettant d'améliorer les performances du système de contrôle. Il est alors possible d'établir des procédures opérationnelles conduisant à l'amélioration des performances du système de contrôle des passagers.

- Le chapitre 6 s'intéresse à la modélisation mathématique des flux de passagers au départ dans une aérogare. Aussi bien le temps que l'espace, sont introduits dans ce nouveau modèle et un nouveau cadre d'évaluation multicritère, beaucoup plus proche de l'opérationnel que dans le chapitre 5, est développé. En effet, ce modèle adoptant une structure en réseau pour décrire les processus de traitement et les transferts de passagers entre les différents sites du terminal, permet notamment de représenter les files d'attente et les temps d'attente infligés aux passagers.
- Le chapitre 7 s'intéresse à l'optimisation des affectations des ressources matérielles et humaines destinées au contrôle du trafic de passagers. Ainsi, si la question de la qualité du service de sûreté est essentielle, la recherche de solutions qui maintiennent le coût de la sûreté à des niveaux acceptables est aussi importante pour garantir la permanence de niveaux de sûreté élevés. Le modèle spatio-temporel développé au chapitre précédent est mis à profit pour quantifier de façon dynamique ces deux objectifs, et malgré sa grande complexité, il est montré comment définir des politiques efficaces de gestion sur le court terme des ressources consacrées à la sûreté dans le terminal de passagers.

Enfin, le dernier chapitre tire les conclusions de cette étude et présente différentes pistes d'étude pour la poursuite de ce thème.

Annexés au corps principal de la thèse sont proposées les éléments complémentaires suivants :

- Principes d'organisation de l'aérogare ;
- Le cadre réglementaire et opérationnel de l'inspection des passagers et des bagages ;
- La mise en œuvre de l'inspection-filtrage des passagers et des bagages ;
- La structure du programme d'évaluation logique ;
- Des exemples de scénarios utilisés dans l'évaluation de la sûreté.

## **Chapitre II**

### **INTRODUCTION A LA SÛRETÉ**

**DU**

### **TRANSPORT AÉRIEN**

## II.1 Introduction

De part sa vulnérabilité, son importance économique et la mise en jeu de l'intégrité des personnes et des biens, l'assurance de la sécurité du transport aérien est un enjeu essentiel de l'activité de transport aérien. Nous présentons dans ce qui suit les définitions des principales notions associées à cette problématique qui permettront de mieux définir le cadre de notre étude.

## II.2 Définitions générales

Selon l'article L 310-1 code de l'aviation civile française, « le *transport aérien* consiste à acheminer par aéronef d'un point d'origine à un point de destination des passagers, des marchandises ou de la poste ».

L'article R.421-1 (2°) du même code précise que « le transport aérien se définit comme toute opération aérienne effectuée en vue ou pendant l'accomplissement du transport, contre rémunération ou contre salaire, de passagers, de poste ou de marchandises ».

Si on s'en tient stricto sensu à ces définitions officielles du transport aérien, il est difficile de comprendre pour quelles raisons il constitue une cible privilégiée pour les actes d'intervention illicite.

Il est possible d'affirmer que le transport aérien est un symbole. Il est l'affirmation de la souveraineté de son état d'immatriculation. En effet, lorsqu'un transporteur aérien est victime d'un acte d'intervention illicite, dans la majorité des cas, la cible réelle est son état d'immatriculation.

En matière de transport aérien, l'exécution du contrat de transport impliquant les compagnies aériennes, pour ce qui est des dommages corporels subis par le voyageur, ne commence qu'à partir du moment où sont entreprises les opérations d'embarquement et cesse avec les opérations de débarquement dès que le passager n'est plus convoyé par un préposé du transporteur et se trouve en un lieu utilisé en commun par plusieurs transporteurs différents, en général le terminal de passagers.

Le candidat au voyage sera considéré comme *passager* (application de la Convention de Varsovie) lorsque :

- il aura accompli la majorité des opérations d'embarquement ;

- il sera pris en charge par le transporteur et se trouvera dans la salle d'embarquement soumise à la garde du transporteur, séparée du hall de l'aérogare par un portillon ;
- il se trouvera à bord de l'aéronef ;
- pour les opérations de débarquement, il sera convoyé par un préposé du transporteur et ce, jusqu'à son arrivée dans le hall, commun aux voyageurs de plusieurs compagnies différentes.

### II.3 Sûreté et sécurité

**Sécurité :** C'est la situation de celui ou de ce qui est à l'abri des risques (agressions, accidents, atteintes matérielles). C'est aussi la prévention de tels risques, les mesures et les moyens de protection tendant à prévenir la réalisation de ces risques, c'est l'ensemble de précautions incombant à certaines personnes envers d'autres. Dans le domaine aéronautique, la sécurité vise les règles de construction et d'utilisation des avions permettant d'assurer la fiabilité du transport aérien. La sécurité (ou *safety* en anglais) renvoie à une législation ainsi qu'au domaine de la prévention des secours contre les défaillances mécaniques, structurelles ou météorologiques. Cette sécurité s'exprime au travers d'une réglementation sévère, laquelle impose des normes de fabrication, d'utilisation et d'entretien des avions, ainsi que des critères stricts de formation et de qualification des équipages techniques (pilotes, mécaniciens navigants) et commerciaux. La réglementation n'oublie pas les services de contrôle de la circulation aérienne, chargés tout à la fois de la sécurité des vols, de garantir les décollages et les atterrissages dans les meilleures conditions possibles, c'est-à-dire en ménageant des intervalles suffisants entre deux appareils, et de veiller au bon fonctionnement des moyens de navigation radio - électriques. L'infrastructure technique des aéroports n'échappe pas non plus à ce souci de contrer l'impondérable, d'éviter les négligences, notamment dans le domaine du balisage, de l'aménagement et de l'entretien des pistes et voies de circulation.

La sécurité est dépendante aussi d'événements involontaires accidentels.

**Sûreté :** C'est la garantie accordée par la société à chacun de ses membres pour la conservation de sa personne, de ses droits et sa propriété. Elle désigne, par extension dans diverses expressions, la protection dont l'Etat se couvre (sûreté de l'Etat), celle qu'il organise (sûreté publique) ou l'organe chargé d'une telle protection (sûreté nationale). Dans le domaine aéronautique, la sûreté vise la prévention de tout acte malveillant volontaire. L'annexe 17 de l'OACI à la Convention de Chicago relative à l'aviation civile internationale la définit

comme étant une « combinaison des mesures ainsi que des moyens humains, matériels visant à protéger l'aviation civile contre les actes d'interventions illicites ». La sûreté ( *security* en anglais) renvoie quant à elle aux domaines de la prévention et de protection contre les actes volontaires et malveillants, elle représente une facette de la sécurité consacrée à la prévention d'un risque précis : les actes de malveillance.

Par conséquent, les mesures dites de sûreté rassemblent « les dispositions prises sur une base légale et /ou réglementaire pour organiser, coordonner, mettre en œuvre, évaluer et contrôler les moyens humains et matériels nécessaires à la protection de l'aviation civile contre les actes d'intervention illicite ». Cette appellation couvre la capture ou le détournement d'un aéronef, le sabotage ou simplement une tentative.

Les experts ont employé le mot « sûreté » pour exprimer la protection de l'aviation civile contre toutes agressions volontaires, ainsi que définit par l'annexe 17 de la Convention de l'OACI de Chicago :

« Chaque Etat contractant prendra des mesures pour empêcher que des armes, des explosifs ou tous autres engins dangereux pouvant être employés pour commettre un acte illicite et dont le port ou le transport n'est pas autorisé, ne soient introduits, par quelque moyen que ce soit, à bord d'un aéronef effectuant un vol d'aviation civile internationale. »

Sécuriser le transport aérien, c'est lui donner une immunité contre l'accident, le sabotage, l'attentat, l'agression, le détournement, mais aussi lui donner une immunité contre le fait d'être instrumentalisé pour commettre un acte terroriste.

La sécurité et la sûreté aérienne relèvent d'une logique asymptotique. Elles se tendent à se rapprocher toujours de la fiabilité absolue sans jamais l'atteindre.

L'annexe 17 à la Convention relative à l'aviation civile internationale est l'annexe intitulée « Protection de l'Aviation Civile Internationale contre les actes d'intervention illicite ». Selon l'annexe 17, la sûreté est : « l'ensemble de combinaison des mesures ainsi que des moyens humains et matériels visant à protéger l'aviation civile contre les actes d'intervention illicites »

On entend par acte d'intervention illicite la « capture d'aéronef, un acte de sabotage ou une attaque armée dirigée contre des aéronefs utilisés pour le transport aérien, leurs passagers, l'équipage, le personnel au sol, les aérodromes civils, et autres installations aéroportuaires utilisées pour le transport aérien, ou la communication d'informations de nature à compromettre la sécurité d'un aéronef ou d'une installation aéroportuaire. »

## **II.4 Classification des atteintes à la sûreté aérienne**

### **II.4.1 Typologie des atteintes à la sûreté aérienne**

Les atteintes à la sûreté aérienne peuvent se décliner en plusieurs grands groupes :

- 1) La capture illicite ou le détournement d'avion en vol ou au sol qui consiste à s'emparer d'un aéronef par la violence ou la menace de violence en vue de le détourner de sa destination. Trois mobiles principaux peuvent être à la base de ces actes, il s'agit de la fuite, de l'extorsion et du terrorisme. La sûreté défaillante des aéroports peut favoriser ce type de violence..

Plus précisément, la capture illicite est définie par l'article 1<sup>er</sup> de la Convention de La Haye « commet une infraction pénale (ci-après dénommée « infraction ») toute personne qui, à bord d'un aéronef en vol :

- a) illicitement et par violence ou menace de violence s'empare de cet aéronef ou en exerce le contrôle ou tente de commettre l'un de ces actes ou
- b) est complice d'une personne qui commet ou tente de commettre l'un de ces actes »

Le détournement est le fait de détourner un aéronef de son itinéraire pour des raisons de sécurité et avec l'accord du contrôle de la circulation aérienne .Le détournement peut s'opérer en vol avec ou sans menace de violence.

- 2) Les attentats à la bombe qui sont effectués à l'aide d'engins explosifs ou par un usage d'un aéronef comme bombe volante. Ils constituent 80% des actes de terrorisme ;
- 3) La prise d'otages à bord d'un aéronef ou sur l'aérodrome ;
- 4) L'intrusion par la force à bord d'un aéronef, dans un aéroport ou dans l'enceinte d'une installation aéronautique ;
- 5) L'introduction d'une arme à bord d'un aéronef ou dans un aéroport, d'un engin dangereux ou d'une matière dangereuse à des fins criminelles ;

6)La communication d'informations fausses de natures à compromettre la sécurité d'un aéronef en vol ou au sol, de passagers, de navigants, de personnel au sol ou du public, dans un aéroport ou dans l'enceinte d'une installation de l'aviation civile. .

### **II.4.2 Les modalités des atteintes à la sûreté aérienne**

Les actes d'intervention illicites peuvent être analysés de différentes manières. On peut par exemple distinguer:

- les individus agissant pour leur compte personnel et ceux agissant pour le compte d'un tiers (commanditaire).
- les auteurs isolés de ceux faisant partie d'une organisation politique (au sens large) structurée.
- les actes commis en fonction de la motivation des auteurs et par rapport à leur gravité.

Ce qui caractérise l'ensemble des actes d'intervention illicite dirigés contre la sûreté du transport aérien de passagers, est cette relation triangulaire : auteur-victime-cible, commune à la criminalité avec prise d'otages et tous les actes terroristes. Il est en effet très rare en matière d'aviation civile, que la victime, soit elle-même la cible visée de l'action. Les auteurs isolés appartiennent généralement à la catégorie décrite par les psychiatres sous le nom d'idéalistes passionnés. Il s'agit de sujets à fortes composante paranoïaque, c'est-à-dire orgueilleux, psychorigides, interprétants, inadaptés. Pour ce qui est des groupes, il a été possible d'observer que toutes les combinaisons et alliances imaginables étaient possibles, y compris la sous-traitance. Cet état de fait a rendu durant plusieurs années toute analyse logique extrêmement difficile.

En ce qui concerne les victimes, elles peuvent être des personnes physiques ou des biens : aéronefs, installations des aéroports et installations à usage aéronautique. Les cibles, quant à elles sont souvent des personnes morales de droit public et quelquefois des personnes morales de droit privé.

Que les auteurs des infractions agissent seuls ou en groupe organisé, il existe deux grandes catégories d'actions : celles qui visent une personne morale et celle plus rares, visant une personne physique.

Les actions visant une personne morale peuvent être classifiées de la façon suivante :

- Actions décidées par certains Etats, exécutées directement par eux ou par des groupuscules terroristes à leur service et destinées à faire pression sur un autre Etat ;
- Actions prenant pour cadre un Etat, afin de régler des comptes qui lui sont parfaitement étrangers ;
- Actions qui visent à faire perdre la crédibilité morale, politique ou économique d'un Etat ou destinées à le déstabiliser ;
- Actions qui ont pour but de tester la capacité à réagir d'un Etat ;
- Actions visant une personne morale de droit privé et exécutées par des criminels de droit commun (chantage, extorsion ...) ;

- Actions personnelles d'individus irresponsables ou malades mentaux (vengeance, solidarité envers une cause ...).

Les actions visant une personne physique peuvent être des types suivants:

- Actions dirigées contre des personnes physiques occupant une fonction précise ou exerçant un métier précis, sans qu'une institution ou un état soit visé (journaliste, artiste, écrivain, enseignant...);
- Actions ayant pour cible une institution ou un Etat et visant des personnes physiques du fait de leur ethnie, religion opinions politiques ou nationalité et /ou fonctions (employé d'ambassade, militant...);
- Actions exécutées par des criminels de droit commun ;
- Actions individuelles d'individus irresponsables ou malades mentaux.

Hormis un ou deux cas d'espèce sans valeur statistique, il est possible d'affirmer que les mesures actuelles de sûreté sont insuffisantes pour décourager les passionnés ou les maître-chanteurs. Actuellement, la motivation des auteurs suit, ou parfois précède, avec un léger décalage, la courbe des crises politiques mondiales. La gravité des actes suit, quant à elle, une courbe croissante. Au cours des dernières décennies, les auteurs d'actes d'intervention illicites ont cherché davantage à se faire une réputation, à faire mieux connaître leur organisation et leur détermination, par de nombreuses exécutions sommaires, qu'à obtenir une contrepartie réelle. Parmi les motifs principaux, on peut citer, la volonté de fuir un pays et son régime, la volonté de combattre un pays et son régime, le paiement d'une rançon ou l'extorsion.

## **II.5 Quelques exemples d'atteinte à la sûreté dans le transport aérien**

Dans la plupart des exemples d'atteinte à la sûreté du transport aérien, la non détection des pirates de l'air ou des terroristes au niveau du terminal de passagers a rendu possible ceux-ci.

- 25 juillet 1947: un appareil roumain commercial a été détourné. Les pirates, trois officiers roumains et sept civils, n'ont pas hésité à user de violence, semant la terreur à bord. Tandis qu'une partie du commando surveillait les passagers, l'autre s'est occupé du poste de pilotage. Ils ont pris le contrôle de l'appareil de ligne, obligeant le pilote à les emmener jusqu'en Turquie. Le mécanicien de bord a été abattu lors d'un accrochage entre le commando et l'équipage.

- 24 juillet 1961: un Lockheed Electra de la compagnie américaine Eastern Air Lines est détourné entre Miami et Tampa. Le pirate de l'air a ordonné au pilote de voler vers la Havane, à Cuba. C'est le 58<sup>ème</sup> détournement d'avion en trente ans. Le premier s'est déroulé en 1931, à l'époque de la prohibition. Depuis, ces actes de piraterie se sont multipliés. A la fin de la deuxième guerre mondiale, beaucoup de ceux qui voulaient fuir les pays de l'Est ont eu recours à cette pratique. Puis ce furent les ressortissants cubains opposés au régime du Commandant Fidel Castro qui détournèrent des avions. Bientôt les castristes eux-mêmes utilisèrent ces méthodes.

- 30 mai 1972: trois japonais sèment la panique à l'aéroport de Lod, l'un des aéroports internationaux de la capitale israélienne. Les trois nippons, membres d'un mouvement proche d'une fraction de l'OLP, étaient montés à bord de l'avion lors de l'escale à Rome. Puis lors du débarquement les trois japonais ont jeté des grenades et tiré à l'arme automatique sur quelques 300 personnes débarquant d'un avion d'Air France.

- 23 juin 1985: un B-747 d'Air India explose en vol dans le ciel canadien. On apprendra une année plus tard que l'avion avait été saboté par un terroriste sikh qui avait déposé une bombe dans la soute à bagage. L'Inde est depuis longtemps en proie à des frictions entre les extrémistes sikhs et hindous, alors que le Canada est l'un des pays qui a accueilli le plus grand nombre d'exilés sikhs.

- 21 Décembre 1988 : explosion en vol d'une bombe artisanale placée dans une soute à bagages. Il n'y eut aucun survivant parmi les passagers et les membres d'équipages, de plus onze habitants de Lockerbie sont morts suite à la chute de l'avion sur leur foyer.

- 20 septembre 1990: un DC-10 d'UTA explose en plein vol au-dessus du désert du Ténére au Niger. L'avion d'UTA, qui assurait la ligne Brazzaville-N'Djamena- Paris, a été pulvérisé en plein vol par l'explosion d'une bombe qui était placée dans la soute à bagages avant. Il n'y eut aucun survivant parmi les 171 passagers et les 15 membres d'équipages.

- Janvier 1990 : Un pirate de l'air prend le contrôle d'un B727 aux Etats Unis, il affirme détenir des explosifs et exige d'être transporté vers un autre pays. Après son arrestation, on constate que l'engin explosif n'était qu'un tube de dentifrice relié à une lampe torche.

- Décembre 1994, détournement d'un Airbus d'Air France. L'objectif des pirates de l'air est d'aller s'écraser sur Paris. Lors de l'escale pour ravitaillement à Marignane, l'avion est pris d'assaut par des troupes d'élites.
  
- 11 Septembre 2001, détournement et crash de quatre avions de ligne sur le sol américain (notamment World Trade Center et Pentagone). Ces actes terroristes ont fait plus de trois mille morts.
  
- 28 Novembre 2002, deux roquettes sont tirées sur un Boeing 757 de la compagnie Arkia décollant de l'aéroport de Mombassa. Aucun dégât n'est à déplorer car les roquettes ont raté la cible.
  
- 4 mars 2003 : explosion d'une bombe à l'aéroport international de Davao aux Philippines. Le bilan est de vingt morts et de cent quarante six blessés.
  
- 19 mars 2007 : Alerte à la bombe sur un avion de Alitalia . Un avion de la compagnie aérienne italienne Alitalia a été victime d'une alerte à la bombe quelques instants avant son décollage de l'aéroport international de Rome (Italie) occasionnant un retard de plus de trois heures. L'avion, un Airbus A321, vol AZA328, qui devait effectuer la liaison entre l'aéroport international Fiumicino de Rome et l'aéroport de Roissy-Charles de Gaulle de Paris, était prêt à effectuer son vol, vers 6h00, heure locale, lorsqu'un coup de téléphone anonyme prévenant de la présence d'une bombe à bord a obligé les autorités aériennes à annuler le départ et à déplacer l'appareil vers un endroit isolé de l'aéroport. L'avion a été évacué par les passagers avant d'être intégralement fouillé par les équipes spécialisées. Rien de ressemblant à de l'explosif n'a été finalement trouvé et l'alerte a été considérée comme fausse. Trois heures plus tard, vers 9h00, le vol décollait pour rallier Paris.
  
- 25 décembre 2009 : tentative de sabotage du vol 253 de Northwest Airlines Un passager à bord d'un avion de la compagnie américaine Delta Air Lines a été maîtrisé vendredi après avoir tenté vraisemblablement d'actionner un petit engin explosif dans ce qui semble être une tentative d'attentat.

L'appareil, qui transportait 278 passagers, assurait la liaison entre Amsterdam, aux Pays-Bas, et la ville américaine de Détroit. L'incident est survenu aux environs de 12 h, heure locale, une vingtaine de minutes avant l'atterrissage de l'avion à Détroit.

Un responsable de la Maison-Blanche, cité par CNN, a parlé d'une tentative d'acte de terrorisme. La thèse de l'attentat a été évoquée aussi par un haut responsable de l'administration américaine qui en a parlé à l'AFP sous couvert de l'anonymat. Associated Press a cité pour sa part un haut responsable des services de lutte antiterroriste selon lequel ce passager prévoyait de faire sauter l'avion.

Peter King, un élu républicain de la Chambre des représentants et membre de la commission de la sécurité intérieure, a déclaré à des chaînes de télévision américaines que le suspect avait utilisé « un engin relativement sophistiqué ». Il aurait été brûlé au deuxième degré quand il a tenté de le faire détonner.

L'individu, qui s'appelle Abdul Mudallad, aurait agi au nom d'Al-Qaïda. On ignore pour le moment ce qui a motivé son geste. Le FBI mène une enquête sur cet incident.

## **II.6 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principales notions associées à la sûreté du transport aérien et qui permettront de mieux définir le cadre de notre étude. Ce chapitre est complété par deux annexes (Organisation du terminal de passagers et Cadre réglementaire de la sûreté aéroportuaire). Dans le chapitre suivant, nous présenterons un panorama des études et recherches actuelles dans le domaine de la sûreté aéroportuaire, avant de cerner notre domaine de recherche et la problématique retenue.

## **Chapitre III**

# **L'INSPECTION FILTRAGE DES PASSAGERS DANS UNE AÉROGARE**

### **III.1 Introduction**

L'étude de la sûreté d'une aérogare nécessite non seulement une connaissance approfondie des différentes fonctions qui lui sont assignées mais aussi une parfaite maîtrise de sa composition afin de pouvoir déjouer le comportement malveillant, parfois planifié, des terroristes. Dans l'annexe I nous présentons d'une part, les différentes fonctions qui doivent être assurées au sein de l'aérogare et d'autre part, l'organisation qui en découle.

### **III.2 Les flux dans l'aéroport**

La personne ou l'objet dangereux empruntent nécessairement les flux de personnes et de biens mis en œuvre dans l'aéroport.

Un flux est un mouvement de personnes ou d'objets suivant un parcours bien défini pour se rendre d'un point à un autre. Il existe une grande diversité de flux dans un aéroport : flux de passagers, flux d'avions, flux de bagages, flux de personnels, flux de véhicules de service et autres. Ils peuvent interagir ou non entre eux. Les règles générales de sûreté imposent des contraintes en terme de non mélange de certains flux tout en conservant une certaine facilitation (capacité de traitement, flexibilité du système, confort des passagers).

Les règles principales admises en général dans la gestion des flux sont :

- pas de mélange de flux au départ ;
- pas de mélange de flux à l'arrivée (tolérance si les deux vols ont le même régime) ;
- pas de croisement de flux ;
- existence de parcours alternatifs en cas de situation dégradée ;
- minimisation des distances à parcourir ;
- signalisation correspondant à ces règles.

#### **III.2.1 Circulation du personnel de l'aéroport, des compagnies aériennes et des entreprises de service**

Afin d'éviter l'intrusion d'une personne dangereuse se faisant passer pour un membre du personnel de l'aéroport, des compagnies aériennes ou des compagnies de service, tout le personnel travaillant dans l'aéroport doit porter un badge de sûreté pendant la journée quand il est dans une zone réservée ou une zone réservée sûreté (zone de sûreté à accès réglementé). La délivrance d'un badge de sûreté est conditionnée au suivi par le demandeur d'une session de sensibilisation à la sûreté et à l'approbation de la demande par les services de police (contrôle du casier judiciaire). La possession d'un badge de sûreté ne signifie pas que l'on ait

le droit de circuler dans toute la *zone réservée* de l'aéroport qui peut être découpée en plusieurs secteurs géographiques. Par exemple en France, celle-ci est découpée en quatre secteurs géographiques :

**A** (avion) : Dans la zone A, à proximité de l'avion, vont circuler tous ceux qui s'occupent de l'appareil durant son escale (avitailleurs, bagagistes, ...);

**B** (bagages) : Cette zone correspond aux galeries bagages ; les bagagistes, les opérateurs de sûreté peuvent y circuler ;

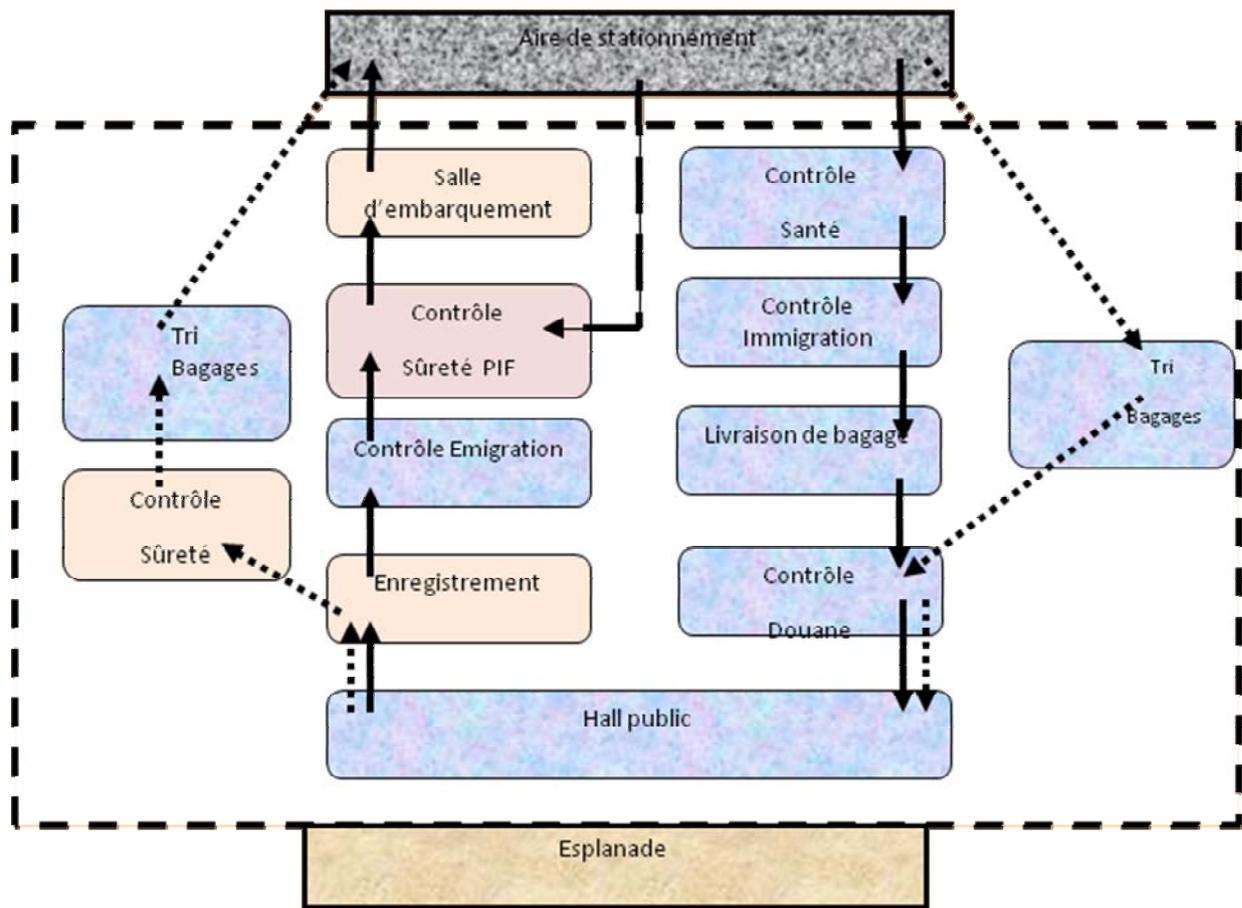
**F** (fret) : Cette zone est dévolue aux activités de fret ;

**P** (passagers) : La zone P correspond aux parties de l'aérogare où circulent les passagers.

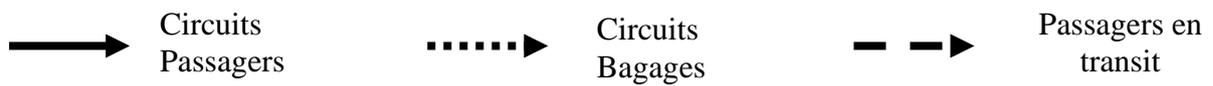
### **III.2.2 Circuit pour les passagers et les bagages à main**

Différentes étapes jalonnent le circuit d'un passager au sein d'un aéroport. Les étapes nécessaires sont fonction du passager (selon qu'il est au départ, en correspondance ou à l'arrivée, selon sa nationalité, selon sa destination...) et l'ordre de celles-ci est fonction de la configuration de l'aérogare. Néanmoins ici nous considérerons un circuit simplifié comprenant les étapes et les contrôles communs à tous les aéroports.

Nous présentons ici un schéma simplifié du circuit de départ et d'arrivée où figurent les principaux contrôles auxquels les passagers et les bagages sont soumis en vue de garantir la sûreté dans le terminal et dans l'aéronef.



**Schéma d'organisation du terminal de passagers**



**Figure 3.1** schéma d'organisation du terminal de passagers

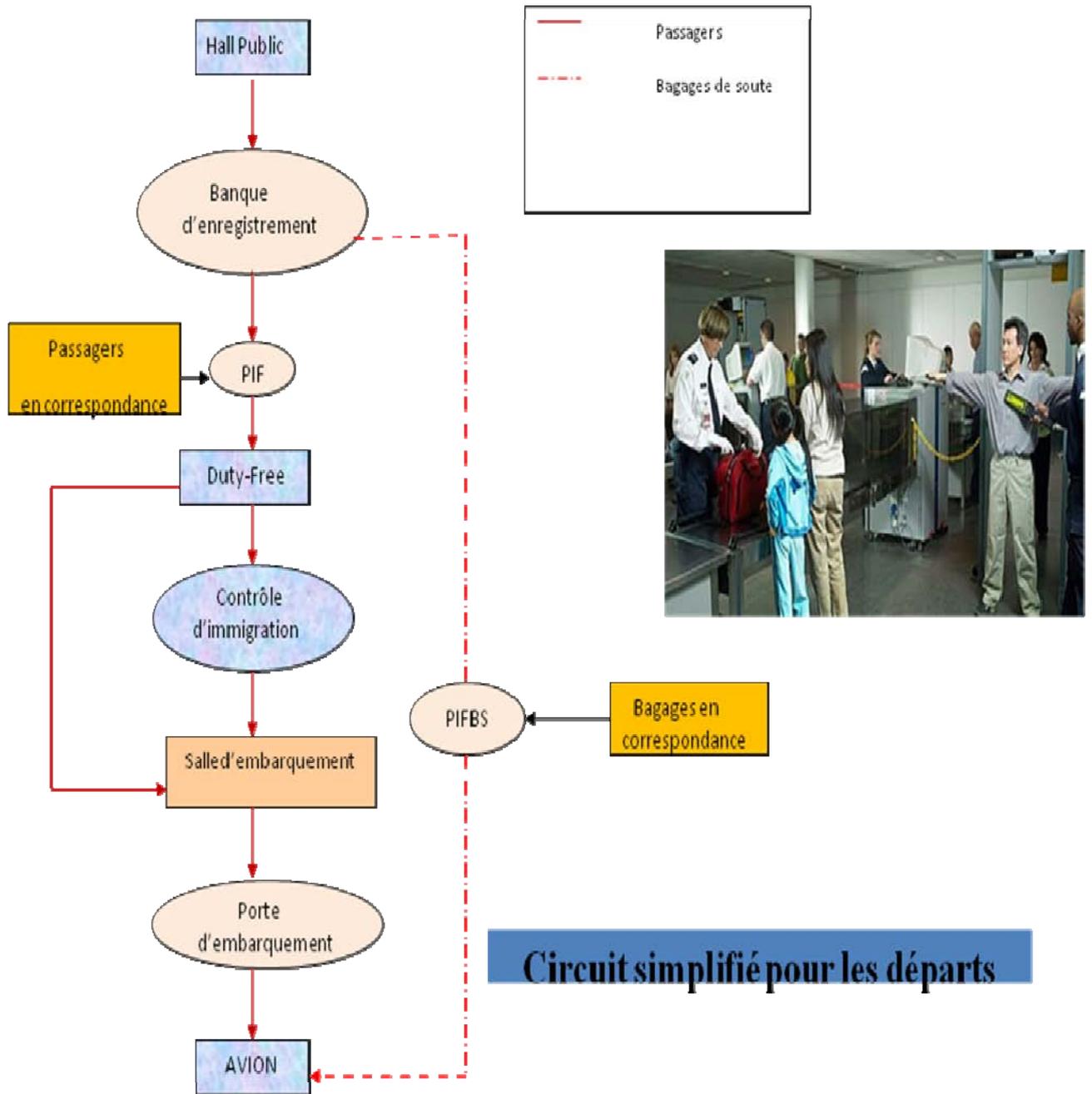


Figure 3.1 circuit simplifié pour les départs

### **III.3 Description générale de l'inspection-filtrage**

L'inspection filtrage est une opération préventive effectuée dans le but de détecter des articles prohibés. Les moyens mis en œuvre peuvent être une fouille, un ou plusieurs équipements de détection (radioscopique ou d'explosifs), des palpations de sécurité ou une combinaison de ces moyens. Elle a généralement lieu à l'entrée de la zone de sûreté à accès réglementé.

Les articles prohibés sont , « toute substance ou objet pouvant constituer une menace pour la sûreté du transport aérien ». On peut distinguer les armes à feu, les couteaux et instruments tranchants, les instruments contondants, les explosifs, munitions, liquides inflammables, interdits en soute, les produits corrosifs, les articles neutralisants ou incapacitants interdits en soute, les articles pouvant être utilisés comme une arme, les articles pouvant faire croire qu'il s'agit d'une arme mortelle, les articles et substances chimiques et biologiques pouvant être utilisés dans les attentats, les restrictions d'export de liquides depuis le 6/11/06 en Europe aux Etats unis et dans certains pays d'Afrique.

Si elles ne sont pas convenablement gérées, les mesures de sûreté aux aéroports pourront avoir des effets néfastes sur le mouvement des passagers au départ. Pour améliorer la gestion des mesures de sûreté, les différents intervenants sur l'aéroport ont des missions bien définies. Ces différentes missions trouvent leurs origines dans les normes et pratiques recommandées de l'annexe 17 de l'OACI, Doc 8973, des plans nationaux de sûreté ou des plans de sûreté des aéroports.

Les personnes en charge du contrôle d'inspection filtrage peuvent être des agents de l'état (police) ou des agents de sûreté privés. Ils sont tenus :

- de réaliser les IF conformément à la réglementation en vigueur
- de suivre des formations initiales et continues et des entraînements périodiques
- de procéder à des tests de performance en situation opérationnelle
- d'appliquer un programme de sûreté et un programme d'assurance qualité

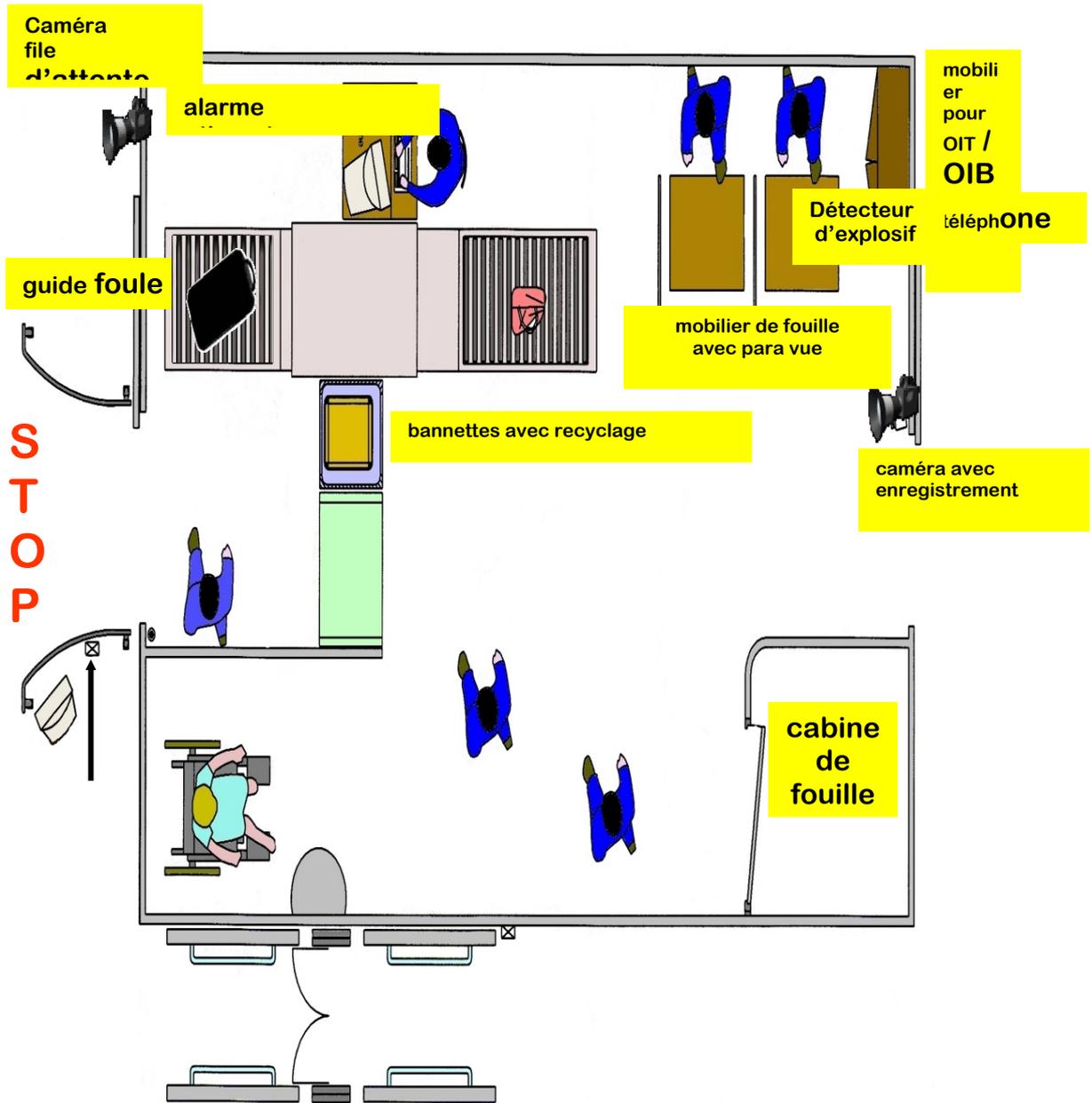


Figure 3.3 Environnement du poste d'inspection filtrage

Le matériel minimum nécessaire aujourd'hui à l'opération d'un poste d'inspection filtrage est constitué de :

- Un dispositif fermant et bloquant la porte lorsque le poste n'est pas utilisé ;
- un magnétomètre ;
- une cabine + table pour la fouille ;
- une table pour fouiller les bagages "hors ouie" ;
- un téléphone ;
- un RX et un moyen de calibrage ;
- une alarme silencieuse ;
- une affiche pour informer les pax ;
- parfois une caméra .

De nombreux aéroports sont munis aujourd'hui de détecteur de Trace ou utilisent des scanners corporels.

Les procédures d'inspection filtrage nécessitent du personnel bien formé, un matériel suffisant et assez de temps pour mener à bien les contrôles.

L'armement du PIF préconisé par le doc 8973 de l'OACI est le suivant :

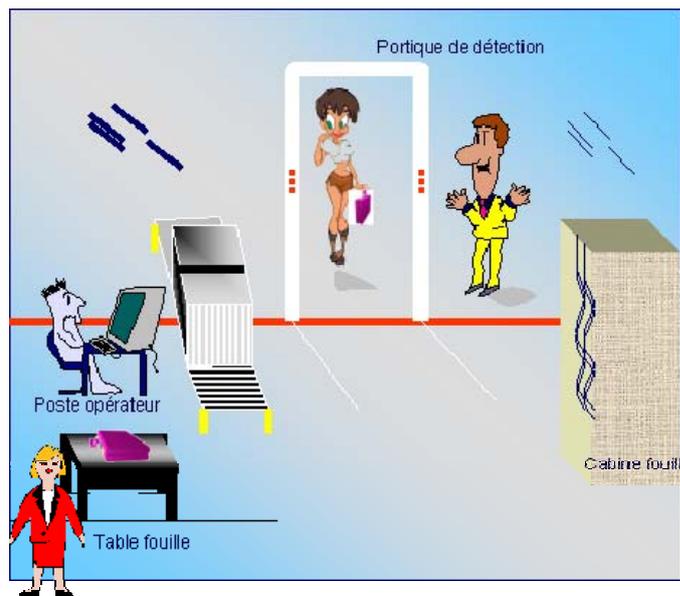
- un agent en amont pour vérifier les documents de voyage, carte d'embarquement ; assurer la manutention des bagages, la gestion des appareils électroniques la gestion des appareils électroniques et petits objets ;
- un agent en aval pour la gestion des alarmes, palpation ( une femme/un homme) ;
- un agent en aval pour assurer la surveillance de l'imagerie et l'interprétation des images ;
- un agent pour la fouille des bagages en aval ;
- un préposé au détecteur de trace ;
- un superviseur qui ne doit réaliser d'autre tâche que l'évaluation du risque et la gestion des litiges .

Un roulement des agents de sûreté doit être programmé au moins toutes les vingt minutes. Ceci permettra à l'agent chargé d'examiner les images radioscopiques de reposer ses yeux. Cette activité ne devra être reprise qu'après une période de 40 mn.

L'armement du PIF dépend des flux traités et de la typologie des vols.

Les effectifs au PIF doivent être renforcés dans les cas suivants :

- dans des circonstances particulières exigeant un renforcement des mesures de sûreté ;
- une pointe ponctuelle de flux des passagers ;
- une absence ou une indisponibilité d'un matériel de contrôle.



**Figure 3.4** Armement du PIF

### **III.4 Procédures de contrôle au poste d'inspection-filtrage (PIF)**

Tous les passagers et leurs bagages cabine, tout le personnel et leur matériel doivent subir l'inspection filtrage. Tout le personnel et tout matériel traversant le poste d'inspection filtrage doivent subir l'inspection filtrage.

#### **III.4.1 Les procédures de contrôle des personnes**

Les passagers sont accueillis par un agent de sûreté ou un policier. L'agent vérifie les autorisations d'accès :

- pour le passager, c'est le document de voyage
- pour le personnel navigant, c'est la carte de navigant ou un autre document valide

- pour le personnel, c'est un titre ad hoc.

Ensuite la personne désirant entrer en zone réservée doit passer par le portique.

On a ainsi les étapes suivantes :

- ❶ le passager se présente au PIF, enlève tout ce qui contient du métal et fait passer son bagage cabine sous le RX ;
- ❷ Passage sous le portique ;
- ❸ si le portique sonne, le passager repasse sous le portique ou subit une palpation ou le magnétomètre ;
- ❹ Le portique ne sonne pas. Le passager peut subir une palpation aléatoire ou repartir récupérer son bagage cabine ;
- ❺ Si les alarmes persistent le passager doit subir une palpation et doit être passé avec magnétomètre ;
- ❻ Si l'agent de sûreté note une persistance de l'alarme, il fait appel à l'officier de police judiciaire (OPJ) ou à la personne habilité pour faire une fouille corporelle au passager. Cette fouille se fait en cabine avec l'autorisation du passager ;
- ❼ Si on n'arrive pas à lever le doute, le passager n'embarque pas ;
- ❽ Si au premier passager l'alarme sonne, le passager subit une palpation et peut récupérer son bagage ;
- ❾ Si le passage sous le portique n'engendre pas une alarme, le passager peut subir une palpation aléatoire ;
- ❿ Les passagers récupèrent leurs bagages cabines. Les bagages cabine sont passés sous le RX. En cas de doute (objet opaque ou difficile à identifier par exemple), les agents de sûreté peuvent demander l'ouverture du bagage qui va être fouillé avec l'autorisation de leur propriétaire.

Les objets interdits en cabine doivent faire l'objet de consignes locales. Les contrôles doivent continuer même après la découverte d'articles ou d'objets prohibés, d'autres objets pouvant être dissimulés. Les bagages cabine peuvent subir une fouille aléatoire.

Ensuite les passagers vont en salle d'embarquement.

Lorsqu'un passager refuse de se soumettre au contrôle, il est prévu de :

- signaler la personne aux services de police ;
- avertir le commandant de bord ;
- refuser l'embarquement au passager ;

- retirer les bagages de soute du passager .

Un passager paraissant nerveux ou arrogant devrait être toujours être fouillé. Dans le cas des Etats Unis : la TSA (Transportation Security Administration), l'agence américaine chargée de protéger les transports aériens, est arrivée à la conclusion que «le pire danger qui menace l'aviation commerciale provient moins des objets pouvant être transportés par des gens malfaisants que des gens malfaisants eux-mêmes».En conséquence, la TSA met en place un nouveau système de contrôle des passagers appelé SPOT (Screening of Passengers by Observation Techniques – contrôle des passagers au moyen de techniques d'observation). Dans le cadre de SPOT, le personnel de la TSA apprend à reconnaître les comportements suspects. «Les passagers éveillant l'attention par des signes d'anxiété seront signalés à la police locale, qui mènera avec eux des entretiens en face à face afin de déterminer s'ils constituent une menace.»

#### **III.4.2 Les procédures d'inspection filtrage des bagages de cabines, autres biens et produits :**

Les agents de sûreté doivent appliquer les règles suivantes au traitement des bagages cabines, lorsque des équipements de détection sont utilisés :

- procéder en cas d'alarme du matériel de détection ou d'absence de validation de l'opérateur, à la fouille du bagage ou de l'objet ;
- effectuer de manière aléatoire, une fouille des bagages de cabine en respectant les objectifs quantitatifs par les autorités.

L'alerte ou l'appel aux services de Police doit être effectuée lorsque :

- les agents de sûreté découvrent une arme de 1<sup>er</sup> ou 4<sup>ème</sup> catégorie, un engin explosif improvisé (EEI) ;
- un agent de sûreté est agressé ;
- un passager tente de passer en force au niveau du PIF ;
- lorsqu'un passager trouble l'ordre public en salle d'embarquement.

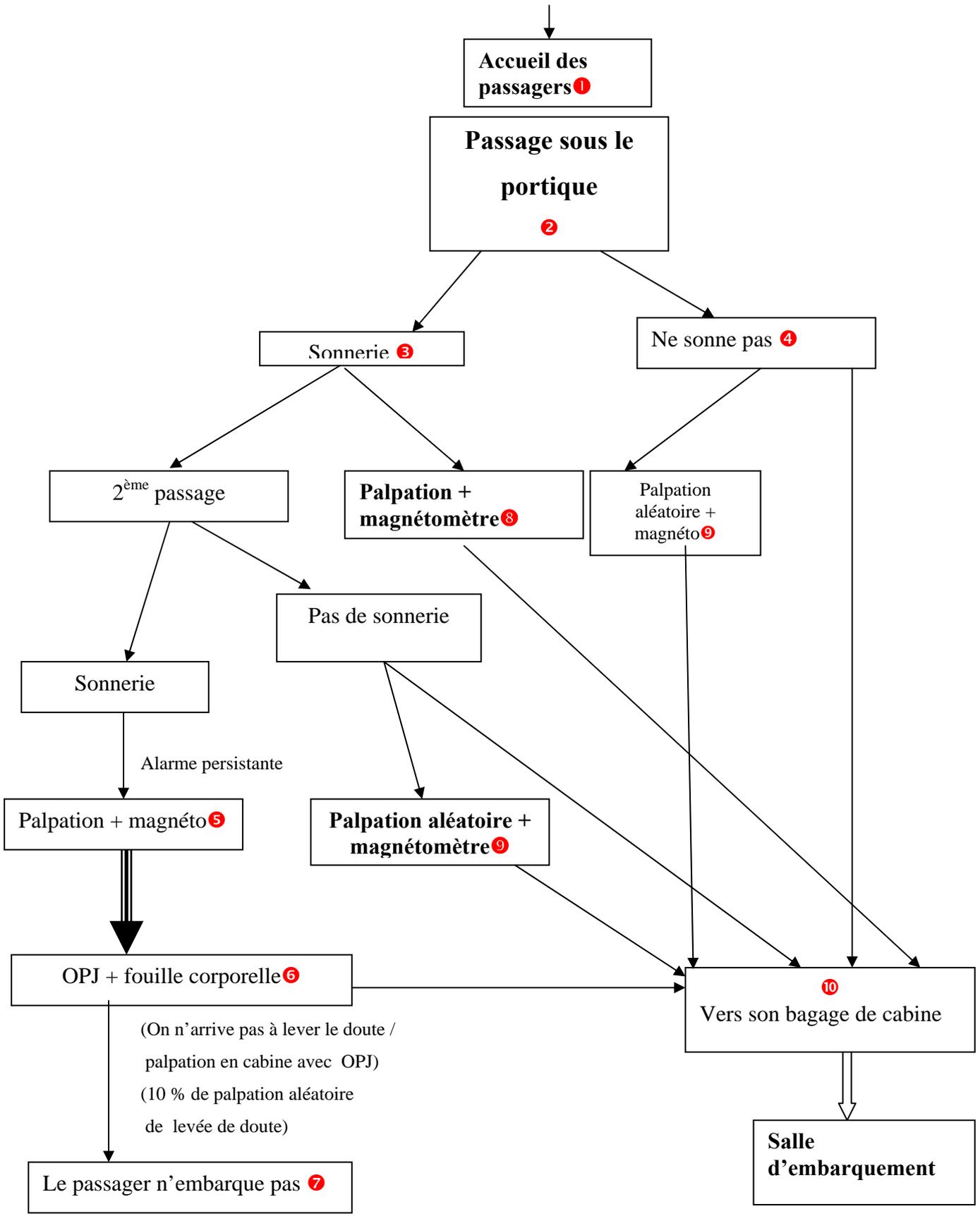


Figure 3.5 la procédure d'inspection filtrage

### **III.5 les différents systèmes d'inspection-filtrage**

L'expérience acquise par les Etats dans l'inspection/filtrage des passagers et de leurs bagages à main les a conduits à mettre au point trois principaux systèmes communément dénommés systèmes d'inspection/filtrage à la porte d'embarquement, à l'entrée d'une salle d'attente et à l'entrée d'un hall.

#### **III.5.1 Principes généraux**

Quelque soit le système utilisé, il doit comporter les éléments indispensables pour empêcher l'introduction d'armes à feu ou d'armes blanches ainsi que des engins dangereux à bord des aéronefs et pour permettre de découvrir un agresseur en puissance avant qu'il monte à bord. L'un de ses éléments de base consiste à pouvoir bénéficier de l'assistance d'agents des forces de l'ordre à chaque poste d'inspection/filtrage. Ces agents devraient être armés de façon à pouvoir répondre immédiatement et efficacement aux activités criminelles faisant intervenir des armes. Ils devront être affectés à un endroit d'où ils pourront surveiller chaque poste d'inspection/filtrage. Si des dispositions dans ce sens ne peuvent être prises, un agent devra pouvoir intervenir rapidement à chaque poste d'inspection/ filtrage si l'on a besoin de son aide. Certains Etats ont établis des délais d'interventions considérés comme suffisants pour toutes les circonstances ; compte tenu du volume des opérations d'inspection/filtrage ;du niveau de la menace , et de la configuration de l'aéroport et de l'aérogare de passagers .

Il faut veiller à ce qu'il n'y ait aucune possibilité de mélange ni de contact au départ ou à l'arrivée entre les passagers ayant été soumis à un contrôle de sûreté et les personnes non soumises à un tel control, après le passage des points de filtrage de sûreté aux aéroports ; s'il y a mélange ou contact, les passagers en cause, ainsi que leurs bagages de cabine, seront soumis à un nouveau filtrage avant d'embarquer dans un aéronef.

En plus du personnel mentionné ci-dessus, le système d'inspection/filtrage devrait également comprendre des appareils spécialisés. La fouille manuelle des passagers et de leurs bagages à main est certes efficace mais elle est relativement lente et exige du personnel dument formés et qualifiés. L'emploi de détecteurs d'objets métalliques et d'appareils de radioscopie améliorera cependant beaucoup l'efficacité de l'inspection/filtrage et , partant

l'acheminement des passagers. Il est important de fouiller manuellement les articles qui ne passent pas l'examen électronique de façon satisfaisante.

Les trois principaux systèmes d'inspection/filtrage, ainsi que leurs avantages et inconvénients respectifs sont décrits ci-après. Les dispositifs de sûreté se trouvant à un emplacement fixe devront toujours être protégés lorsqu'ils ne sont pas en service.

### **III.5.2 Inspection/filtrage à la porte d'embarquement**

L'inspection/filtrage est effectué immédiatement avant l'embarquement à un poste de contrôle situé aux portes d'embarquements qui conduisent à l'aéronef. La porte peut donner sur une passerelle qui est directement reliée à l'aéronef ou bien sur une aire de trafic permettant d'y accéder. L'inspection/filtrage a lieu au moment où l'embarquement des passagers commence et lorsque la porte qui conduit à l'aéronef est ouverte. Le personnel et l'équipement disponibles sur place dans les meilleurs délais (c'est-à-dire de manière à ne pas retarder indûment le vol). Les agents de sécurité n'occuperont le poste de contrôle qu'au moment où il faut procéder à l'inspection/filtrage.

Toutefois, le poste d'inspection/filtrage et l'accès par ce poste doivent être protégés en dehors des heures d'utilisation.

### **III.5.3 Inspection/filtrage à l'entrée d'une salle d'attente**

L'inspection/filtrage est effectuée à l'entrée d'une zone conçue spécialement pour faire attendre les passagers avant qu'ils embarquent. La zone est protégée (c'est-à-dire rendue stérile) par des murs ou barrières appropriés et tous ces points d'accès sont contrôlés. La salle d'attente peut être également un véhicule conçu spécialement pour transporter les passagers vers un aéronef éloigné. La porte qui conduit à l'aire du trafic reste verrouillée jusqu'au moment de l'embarquement proprement dit (la totalité ou la plupart des passagers et de leurs bagages à main auront alors été inspectés/filtrés). Pour que l'isolement soit efficace, la salle d'attente doit être gardée lorsqu'elle n'est pas utilisée. Si elle ne l'est pas, elle doit être fouillée avant d'être utilisée pour s'assurer que des armes ou des engins dangereux n'y ont pas été introduit par un agresseur en puissance ou un complice pour être utilisés ultérieurement. Il ne faudra pas mettre en œuvre autant de personnels et d'appareils parce que dans ce cas l'inspection/filtrage pourra se faire plus lentement.

Les agents de sûreté n'occuperont le poste de contrôle qu'au moment où il faut procéder à l'inspection/filtrage.

### **III.5.4 Inspection/filtrage à l'entrée d'un hall**

L'inspection/filtrage s'effectue à l'entrée d'un hall ou d'un satellite qui comprend plusieurs portes d'embarquement. Tous les points d'accès doivent être contrôlés pour maintenir la stérilité des lieux. Après qu'une inspection complète effectuée en début de journée confirme que le hall est bien stérile, le hall doit être verrouillé ou faire l'objet de rondes de surveillance lorsqu'il n'est pas utilisé. Toutefois, étant donné qu'en général les halls stériles sont utilisés sans interruption, ou du moins tant que l'aérogare de passagers est ouverte et accessible au public, il n'est pas nécessaire que les inspections soient fréquentes. L'inspection/filtrage se fait simultanément pour plusieurs vols à la fois. Il faudra peut-être plus de personnels et d'appareils qu'aux postes de contrôle d'une seule porte ou d'une salle d'attente en raison du nombre plus élevé de passagers à acheminer. Cependant, étant donné qu'un seul poste de contrôle est utilisé pour plusieurs portes d'embarquements, cette méthode permet une meilleure utilisation des ressources en personnels et en équipements, avec un avantage économique considérable.

### **III.5.5 Eléments d'analyse**

Les Etats ne s'accordent pas sur les avantages et inconvénients de chacun des systèmes examinés ci-dessus. Chaque Etat et chaque administration aéroportuaire devra les évaluer et décider du système ou de la combinaison de systèmes qu'ils estimeront les mieux adaptés à la configuration de l'aéroport, en tenant compte de tous les facteurs qui entrent en jeu.

Un des avantages du système d'inspection/filtrage à la porte d'embarquement est qu'il réduit au minimum les possibilités que des armes à feu et autres engins dangereux soient remis subrepticement aux passagers qui ont déjà été inspectés/filtrés à l'entrée de la salle d'attente présenterait le même avantage ; pour autant que l'on vérifie soigneusement ; avant d'utiliser cette salle ; qu'aucune arme n'est cachée ; et qu'on maintienne strictement la stérilité de cette salle chaque fois qu'on l'utilise.

D'autres Etats estiment qu'il est avantageux de séparer le plus possible l'aéronef du point où un agresseur en puissance doit se présenter au contrôle de sûreté et que les systèmes d'inspections/filtrage à l'entrée d'une salle d'attente et d'un hall permettent une telle séparation. Celle-ci se définit en temps ou en distance. L'inspection/filtrage à l'entrée de la salle d'attente autorise une séparation dans le temps principalement, puisque le poste de contrôle se situe habituellement à quelques mètres seulement de la porte d'embarquement. Or, il arrive très souvent que l'aéronef n'y soit pas stationné au moment de l'inspection/filtrage. D'autre part, la porte qui donne sur la passerelle ou sur l'aire de trafic est verrouillée jusqu'à

ce que les passagers embarquent définitivement. Les services de sûreté peuvent être confrontés avec une personne malintentionnée avant que l'aéronef visé devienne accessible. Le système de l'inspection à l'entrée d'un hall est en général encore plus efficace, car il permet la séparation à la fois dans le temps et dans l'espace. La plupart du temps, les passagers ignorent à quel poste l'aéronef doit stationner, et s'il s'y trouve déjà. La séparation accrue dans le temps et dans l'espace contribue à améliorer le délai d'intervention des services de sûreté.

Les deux systèmes ci-dessus (salle d'attente et hall) accroissent la sûreté en permettant aux agents chargés de l'inspection/filtrage de s'acquitter de leur tâche à un rythme plus posé, donc avec plus de soin. (Ces agents décideront plus souvent de ne pas contrôler un objet suspect ou non identifiable s'il faut accélérer l'inspection des passagers en raison du départ imminent de l'aéronef). Par ailleurs, il est probable que les difficultés éventuelles seront plus facilement résolues et que les agents de sûreté, moins pressés répondront aimablement aux questions des passagers. Ceux-ci risqueront moins de s'agglutiner au poste de contrôle pour embarquer au plus vite sur un aéronef qui est manifestement prêt à les recevoir. Les perturbations des vols qu'entraînent les retards peuvent avoir une incidence négative sur le déploiement du personnel de sûreté dans ce type de système.

La police, la gendarmerie et la douane contrôlent la mise en œuvre effective des mesures par l'ensemble des opérateurs. Ils évaluent la performance du service de sûreté ou assistent aux tests en situation opérationnelle. Ils peuvent aussi établir des constats de manquements aux règlements

Placée sous la responsabilité des exploitants d'aérodrome, l'inspection- filtrage des passagers à l'entrée des salles d'embarquement a été considérablement renforcée ces dernières années. Tous les objets coupants ou contondants ont été ajoutés à la liste des objets interdits en cabine. La sensibilité des portiques de détection des masses métalliques a été augmentée. Et un pourcentage très important de passagers est désormais soumis à un examen complémentaire.

Le filtrage des passagers et de leurs bagages avec minutie nécessite un personnel de sûreté bien formé, du matériel de sûreté adéquat et assez de temps pour que le processus de sûreté soit mené à bien. Si les contrôles de sûreté ne sont pas exécutés de façons efficaces, le respect des horaires des services aériens sera compromis. De plus, l'encombrement aux points de contrôle pourra être exploité par des personnes cherchant à contourner le système de sûreté.

### **III.6 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons introduit les principaux éléments permettant de comprendre le bon fonctionnement du poste d'inspection-filtrage. Des éléments complémentaires sur sa mise en œuvre sont présentés dans l'annexe 3. Il est clair que le PIF est un système complexe qui fonctionne sous pression (des passagers, des horaires, de compagnies aériennes) et tant sa composition que sa mise en œuvre doivent être analysés de façon détaillée. Dans le chapitre suivant, un essai de modélisation logique du système de contrôle des passagers est alors développé de façon à obtenir un outil d'analyse de son fonctionnement permettant d'en évaluer l'efficacité.

## **CHAPITRE IV**

### **MODÉLISATION LOGIQUE DU SYSTEME DE CONTRÔLE DES PASSAGERS**

## IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, un modèle logique du système de contrôle au départ des passagers dans un aéroport est développé. La finalité de ce modèle est de permettre de tester différents scénarios d'attaque du système par un vecteur de menace, d'analyser le comportement du système dans ces conditions et d'en évaluer la perméabilité vis à vis de différents types d'attaques. En annexe 3 est présenté en détail la composition et les procédures opérationnelles mises en œuvre dans les postes d'inspection-filtrage.

## IV.2 Construction du modèle logique

Le modèle logique considéré résulte de l'agencement des différents éléments constitutifs du système de contrôle de l'aéroport et des procédures nominales ou non de fonctionnement de celui-ci. Ce modèle est complété par des scénarios concernant :

- Les « ressources » dont dispose un passager constituant une menace.
- L'état opérationnel du système (équipements et procédures de contrôle opérantes ou défaillantes de façon ponctuelle ou non).

On se propose donc d'évaluer la perméabilité d'un terminal aéroportuaire en considérant que le passager, le membre du personnel ou tout autre personne désirant se rendre dans les zones réservées de l'aéroport est muni d'un « vecteur ressources » dont les composantes représentent les caractéristiques de cette personne :

- Détient-elle un ou des billets ?
- A-t-il une carte d'identité ou un passeport en concordance avec ce ou ces billets ? un badge de membre du personnel ou de tout autre groupe autorisé dans les zones de sécurité?
- Est-elle décidée à commettre un acte portant atteinte à la sûreté du transport aérien ?
- Possède-t-elle des moyens matériels constituant une menace ?
- etc.

L'ensemble des ressources peut être représenté par un vecteur constitué de variables booléennes et le passage d'une zone de l'aéroport à une autre correspondra à la satisfaction de certaines contraintes logiques. Par exemple, au niveau des contraintes liées à la banque d'enregistrement, la possession d'un billet et la possession d'une pièce d'identité concordantes sont validées.

Si le passager a des intentions malveillantes, celles-ci sont modélisées par des conditions logiques et il s'agit en fait de vérifier si celles-ci peuvent être satisfaites ou non dans le cadre du scénario.

Il s'agit aussi d'identifier les conditions de satisfaction de ce scénario et compte tenu de ses conséquences pour la sûreté, de proposer éventuellement des aménagements au système de contrôle et aux procédures associées.

### **IV.3 Les ressources, les évènements et les états**

#### **IV.3.1 Les ressources mises en œuvre**

Les *ressources* associées à un passager sont données par un vecteur de ressources  $\underline{X} = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_N)$  dont les composantes booléennes représentent les différentes ressources dont dispose cette personne (bien ou mal intentionnée) : passager (réel ou potentiel), membre du personnel, ...

Les composantes de celui ci sont :

#### **Badges :**

$X_1$  = possession du badge A (zone avion) .

$X_2$  = authenticité du badge A.

$X_3$  = possession badge B (zone bagages)

$X_4$  = authenticité du badge B.

$X_5$  = possession badge F (zone fret) .

$X_6$  = authenticité du badge F.

$X_7$  = possession badge P (zone passagers)

$X_8$  = authenticité du badge P.

#### **Identification :**

$X_9$  : possession de carte d'identité

$X_{10}$  : si carte identité

$X_{11}$  : passeport

$X_{12}$  : si passeport

#### **Titre de transport :**

$X_{13}$  : possession de titre(s)

- $X_{14}$  : possession de titre unique
- $X_{15}$  : authenticité du titre unique
- $X_{16}$  : authenticité des titres multiples

**carte d'embarquement :**

- $X_{17}$  : possession de carte(s) d'embarquement
- $X_{18}$  : si possession de carte(s) ( $X_{17}=1$ ), une seule ou plusieurs
- $X_{19}$  : authenticité de carte unique
- $X_{20}$  : authenticité des cartes multiples

**Objet interdit « détournable » :**

- $X_{21}$  : objet métallique situé dans le bagage à main
- $X_{22}$  : objet organique situé dans le bagage à main
- $X_{23}$  : objet inorganique situé dans le bagage à main
- $X_{24}$  : objet métallique situé sous les vêtements
- $X_{25}$  : objet organique situé sous les vêtements
- $X_{26}$  : objet inorganique situé sous les vêtements

**Objet Dangereux par Nature (DPN)**

- $X_{27}$  : objet métallique DPN situé dans le bagage à main
- $X_{28}$  : objet organique DPN situé dans le bagage à main
- $X_{29}$  : objet inorganique DPN situé dans le bagage à main
- $X_{30}$  : objet métallique DPN situé sous les vêtements
- $X_{31}$  : objet organique DPN situé sous les vêtements
- $X_{32}$  : objet inorganique DPN situé sous les vêtements

**Objet dans le bagage de soute :**

- $X_{33}$  : objet dangereux situé dans le bagage de soute

### Concordance :

$X_{34}$  : titre de transport et document d'identité concordants

$X_{35}$  : carte d'embarquement et document d'identité concordants

On peut distinguer plusieurs étapes dans l'évolution du vecteur ressources :

- les *ressources initiales*
- les *ressources acquises* : elles sont obtenues après la phase dite d'acquisition.

Par exemple, le passage aux banques d'enregistrement avec un titre de transport et une identité correspondante reconnus vrais modifie les ressources initiales en fournissant la ressource « carte d'embarquement ».

- les *ressources finales* : elles sont obtenues en tenant compte des apports éventuels en ressource au cours du cheminement de la personne cible (objet dangereux obtenu dans la zone sous - douane, complice remettant un objet,...).

### IV.3.2 Etat de fonctionnement du système

L'état de fonctionnement du système à un instant donné est un état qui détaille quels sont les éléments du système de contrôle opérant nominalement et quels sont ceux qui sont défaillants à cet instant. A chaque élément  $i$  du système de contrôle peut être associée une probabilité  $\lambda_i \in [0, 1]$  de bon fonctionnement à l'instant considéré (ou une probabilité de défaillance de l'élément de contrôle  $1 - \lambda_i$ ).

Un scénario sur l'état de fonctionnement du système sera défini comme une suite d'états binaires (0 ou 1) correspondant au fonctionnement normal ou non de chaque type de contrôle. Les probabilités peuvent toujours être réintroduites une fois la faisabilité du scénario vérifiée. Elles ne sont en tous cas pas indispensables dans la présente approche qui vise plus à systématiser l'étude de faisabilité de l'occurrence d'événements plutôt qu'à obtenir des valeurs de probabilité (de toutes façons très faibles) sur un nombre limité d'événements.

Chacun des éléments de contrôle  $F_i$  suivants peut être à un moment donné (celui où passe le passagers potentiellement dangereux) en état de bon fonctionnement ou en état de défaillance:

- à l'enregistrement :

$$F_1 = F_{\text{contrôle\_billet}}$$

$$F_2 = F_{\text{contrôle\_identité}}$$

$$F_3 = F_{\text{contrôle\_concordance}}$$

- au niveau du poste d'inspection filtrage :

$$F_4 = F_{\text{portique}}$$

$$F_5 = F_{\text{scanner}}$$

$$F_6 = F_{\text{détecteur\_manuel}}$$

$$F_7 = F_{\text{fouille\_manuelle}}$$

$$F_8 = F_{\text{contrôle\_carte\_embarquement}}$$

- à l'immigration :

$$F_9 = F_{\text{contrôle\_passeport/visa}}$$

- à l'embarquement :

$$F_{10} = F_{\text{contrôle\_carte\_embarquement}}$$

$$F_{11} = F_{\text{contrôle\_identité}}$$

$$F_{12} = F_{\text{contrôle\_concordance}}$$

- au contrôle des bagages de soute :

Nous considérons à ce stade un état de fonctionnement global pour le poste d'inspection filtrage puisque dès lors qu'une des composantes du système est défaillante, le bagage est définitivement considéré sûr.

$$F_{13} = F_{\text{contrôle\_IFPBS}}$$

Ces contrôles peuvent être vus comme les contrôles minimums pour un passager au départ ; il faudrait y inclure les autres moyens de contrôle : PIF personnels, portes, portes anti-remontée, lecteurs de badge, etc.

### IV.3.3 Événements indésirables et contraintes

Les événements indésirables sont exprimés sous forme de conditions logiques. En fonction de la nature de l'événement indésirable et du statut de la personne contrôlée, la liste de ces conditions logiques varie.

Ici l'ensemble des contraintes est représenté par des conditions logiques de sorte que le passage d'une zone de l'aéroport à une autre correspondra à un test sur un certain nombre de composantes du vecteur ressources. Par exemple, au niveau de la porte d'embarquement, la

possession d'une carte d'embarquement authentique ( $X_{17} = 1$  et  $X_{19} = 1$ ) et d'une pièce d'identité/passeport authentique  $\{(X_9 = 1 \text{ et } X_{11} = 1) \text{ ou } (X_{10} = 1 \text{ et } X_{12} = 1)\}$  concordantes ( $X_{35} = 1$ ) seront testées. Si ces conditions sont vérifiées on peut dépasser le stade du contrôle « *porte d'embarquement* » et accéder à l'avion. Il faut remarquer que la satisfaction de ces contraintes est liée à l'état instantané de fonctionnement du système.

En résumé, on a dans chaque étape du système de contrôle (passage du PIF, embarquement, lecteur de badge, ...) une séquence de variables  $v_i$  qui doivent vérifier un ensemble de contraintes  $c_i$ . La ressource  $x_i$  est alors testée pour valider l'accès à la zone suivante.

### **Expression des contraintes :**

Notation : Dans ce qui suit, le point « . » représente le *et* logique et la notation « + » représente le *ou* logique,  $\overline{X_i}$  représente la négation de valeur de  $X_i$ ,  $V$  est le régime de vol.

*Banques d'enregistrement* : ces banques ne constituent pas un point de contrôle obligatoire.

#### *Le PIF passager:*

Comme nous l'avons vu précédemment, chaque élément de contrôle du PIF va correspondre à un test sur une ou plusieurs composantes du vecteur  $\underline{X}$ .

Le tableau ci-dessous résume les composantes testées par les différents contrôles opérés au niveau du PIF :

	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_{24}$	$X_{25}$	$X_{26}$	$X_{27}$	$X_{28}$	$X_{29}$	$X_{30}$	$X_{31}$	$X_{32}$	$X_{17}$	$X_{19}$	$X_7$	$X_8$
Portique détecteur				■						■						
Détecteur manuel				■						■						
Fouille du passager				■	■	■				■	■	■				
Scanner	■	■	■				■	■	■							
Fouille du bagage	■	■	■				■	■	■							
Fouille Aléatoire	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Validation documentation													■	■	■	■

**Tableau 4.1** Eléments du vecteur de ressources  $X$  opérations de contrôle

Nous introduisons ici un vecteur de variables logiques auxiliaires  $Z$  pour simplifier la description logique du fonctionnement du PIF en vue de définir plus clairement les contraintes à satisfaire :

$$Z_1 = X_{24} + X_{30} \quad (4.1.a)$$

$$Z_2 = X_{24} + X_{30} \quad (4.1.b)$$

$$Z_3 = X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{30} + X_{31} + X_{32} \quad (4.1.c)$$

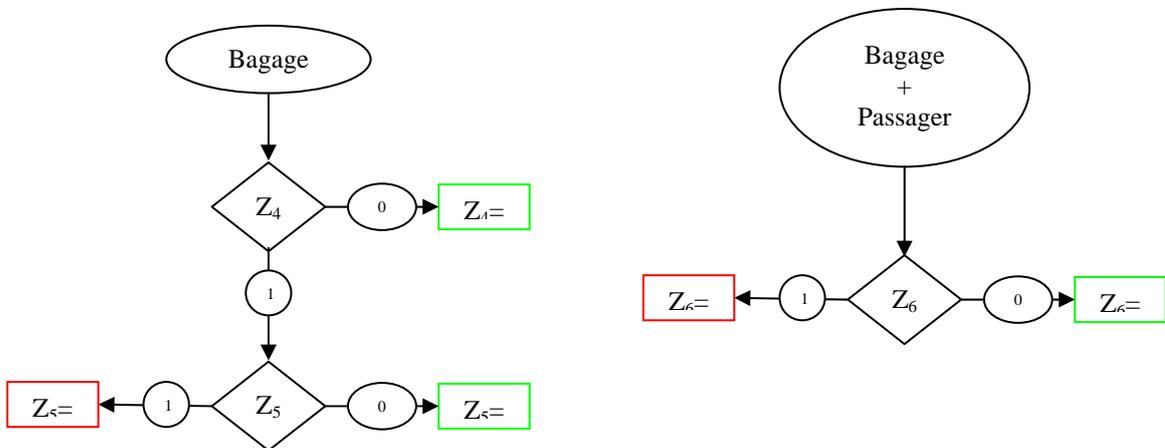
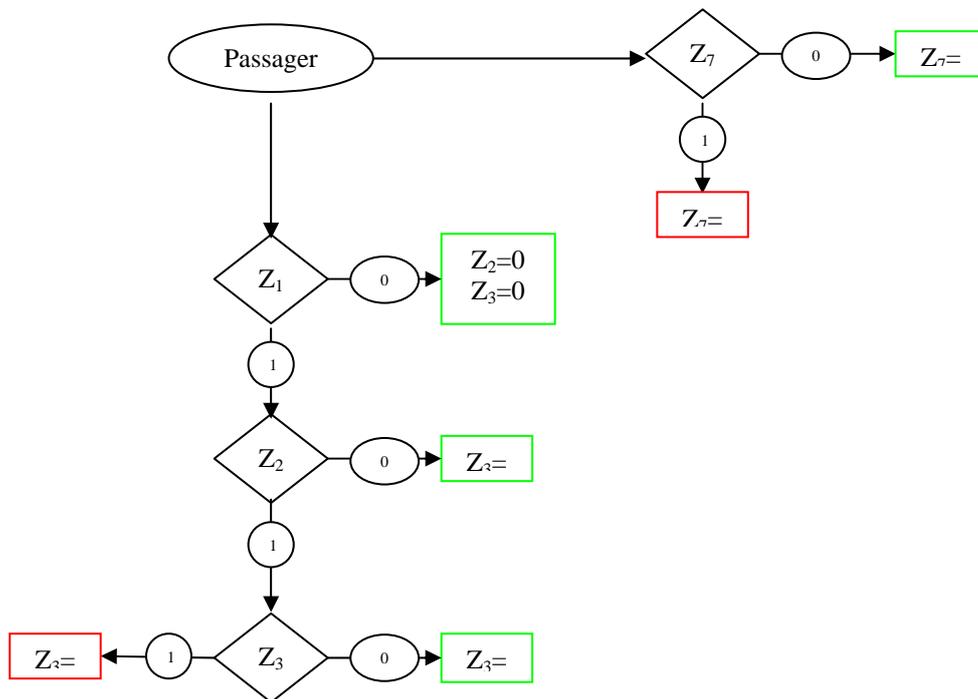
$$Z_4 = X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{27} + X_{28} + X_{29} \quad (4.1.d)$$

$$Z_5 = X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{27} + X_{28} + X_{29} \quad (4.1.e)$$

$$Z_6 = X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{30} + X_{31} + X_{32} \quad (4.1.f)$$

$$Z_7 = X_7 \cdot X_8 + X_{17} \cdot X_{18} \quad (4.1.g)$$

Les contrôles réalisés dans le PIF peuvent dépendre les uns des autres, par exemple la fouille manuelle non aléatoire du bagage de main n'a lieu qu'en cas d' « alarme » du scanner. On peut construire un graphe de la logique du contrôle qui va nous conduire jusqu'à la définition des contraintes à satisfaire.



**Figure 4.2 :** Schémas logiques des contraintes auxiliaires

Une fois analysé le fonctionnement séquentiel du PIF, on peut établir la contrainte globale à satisfaire :

$$c_2 = [\bar{Z}_1 \cdot (\bar{Z}_4 + \bar{Z}_5) + \bar{Z}_2 \cdot (\bar{Z}_4 + \bar{Z}_5) + \bar{Z}_3 \cdot (\bar{Z}_4 + \bar{Z}_5) + \bar{Z}_6] \cdot Z_7 \quad (4.2)$$

Remarquons que le test sur la variable  $Z_6$  (fouille manuelle aléatoire) peut être effectué réglementairement sur au moins 10% des passagers indépendamment de la valeur des autres variables. Dans le cas où cette fouille a lieu, la variable  $Z_6$  doit être testée à 0 ( $\bar{Z}_6$ ).

*Contrôle d'immigration :*

$$c_3 = (V \cdot X_{11} \cdot X_{12}) + \bar{V} \quad (4.3)$$

Où  $V$  est une variable logique qui indique le « régime de vol » :  $V=0$  : le vol est domestique ou Schengen,  $V=1$  : le vol est international.

En posant  $Z_8 = X_{11} \cdot X_{12}$ , on obtient alors:

$$c_3 = (V \cdot Z_8) + \bar{V} \quad (4.4)$$

*Porte d'embarquement :*

$$c_4 = (X_9 \cdot X_{10} + X_{11} \cdot X_{12}) X_{17} \cdot X_{18} \cdot X_{35} \quad (4.5)$$

Avec :

$$Z_9 = X_9 \cdot X_{10} \quad (4.6.a)$$

$$Z_{10} = X_{11} \cdot X_{12} \quad (4.6.b)$$

$$Z_{11} = X_{17} \cdot X_{19} \quad (4.6.c)$$

$$Z_{12} = X_{35} \quad (4.6.d)$$

on a

$$c_4 = (Z_9 + Z_{10}) \cdot Z_{11} \cdot Z_{12} \quad (4.7)$$

$$c_5 = Z_{13} \quad (4.8)$$

IFPBS :

$$c_5 = X_{33}, Z_{13} = X_{33} \quad (4.9)$$

## IV.4 Mise en œuvre du modèle

### IV.4.1 Conditions d'initialisation

Le scénario va être composé des ressources initiales de la cible et de l'état opérationnel supposé du système. Les ressources initiales peuvent être modifiées par les conditions d'initialisation : par exemple, au niveau de la banque d'enregistrement, la possession d'un titre de transport vrai ( $X_{13} = 1$  et  $X_{15} = 1$ ) et d'une pièce d'identité/passeport vrai(e)  $\{(X_9 = 1 \text{ et } X_{11} = 1) \text{ ou } (X_{10} = 1 \text{ et } X_{12} = 1)\}$  concordantes ( $X_{34} = 1$ ) seront testées. Si ces conditions sont vérifiées, on peut, à la sortie de la banque d'enregistrement, obtenir une vraie carte d'embarquement. Les ressources alors obtenues sont les ressources dites acquises.

*Banques d'enregistrement :*

$$c_1 = (X_{13} \cdot X_{15}) \cdot [(X_9 \cdot X_{10}) + (X_{11} \cdot X_{12})] \cdot X_{34} \quad (4.10)$$

$$\text{si } c_1 \Rightarrow X_{17} \cdot X_{19} \cdot X_{35} \quad (4.11)$$

Comme nous l'avons vu pour les contraintes  $c_2, c_3, c_4, c_5$  nous allons exprimer les conditions d'acquisition à partir des variables « Z » :

$$Z_{14} = X_{13} \cdot X_{15} \quad (4.12.a)$$

$$Z_{15} = X_9 \cdot X_{10} \quad (4.12.b)$$

$$Z_{16} = X_{11} \cdot X_{12} \quad (4.12.c)$$

$$Z_{17} = X_{34} \quad (4.12.d)$$

D'où

$$c_1 = (Z_{15} + Z_{16}) \cdot Z_{14} \cdot Z_{17} \quad (4.13)$$

Il faut noter que des ressources annexes (non présentées dans le vecteur ressources) peuvent modifier l'état de fonctionnement initial. Ce serait par exemple le cas avec l'existence d'un complice, membre du personnel de détection scanner : cette complicité est alors assimilable à une défaillance de la composante « contrôle scanner » ( $F_5 = 0$  dans le vecteur  $\underline{F}$ ). Les ressources annexes n'ont pas été considérées dans cette approche simplifiée.

Remarquons ici que l'enregistrement n'est pas un point de passage strictement obligatoire, une personne munie d'une fausse carte d'embarquement ou d'une carte d'embarquement volée pouvant se présenter directement au PIF.

#### IV.4.2 Impact des défaillances de fonctionnement

Nous donnons ci-après les conséquences des défaillances élémentaires :

Ces défaillances de l'état de fonctionnement forcent certaines variables  $Z_i$  à prendre des valeurs particulières :

Au niveau du PIF :

$$\begin{aligned}\overline{F_4} &\rightarrow \overline{Z_1} \\ \overline{F_5} &\rightarrow \overline{Z_2} \\ \overline{F_6} &\rightarrow \overline{Z_2} \\ \overline{F_7} &\rightarrow \overline{Z_3} \cdot \overline{Z_5} \cdot \overline{Z_6} \\ \overline{F_8} &\rightarrow \overline{Z_7}\end{aligned}$$

A l'immigration :

$$\overline{F_9} \rightarrow Z_8$$

A l'embarquement :

$$\begin{aligned}\overline{F_{10}} &\rightarrow Z_{11} \\ \overline{F_{11}} &\rightarrow Z_9 \cdot Z_{10} \\ \overline{F_{12}} &\rightarrow Z_{12}\end{aligned}$$

Au poste d'inspection filtrage :

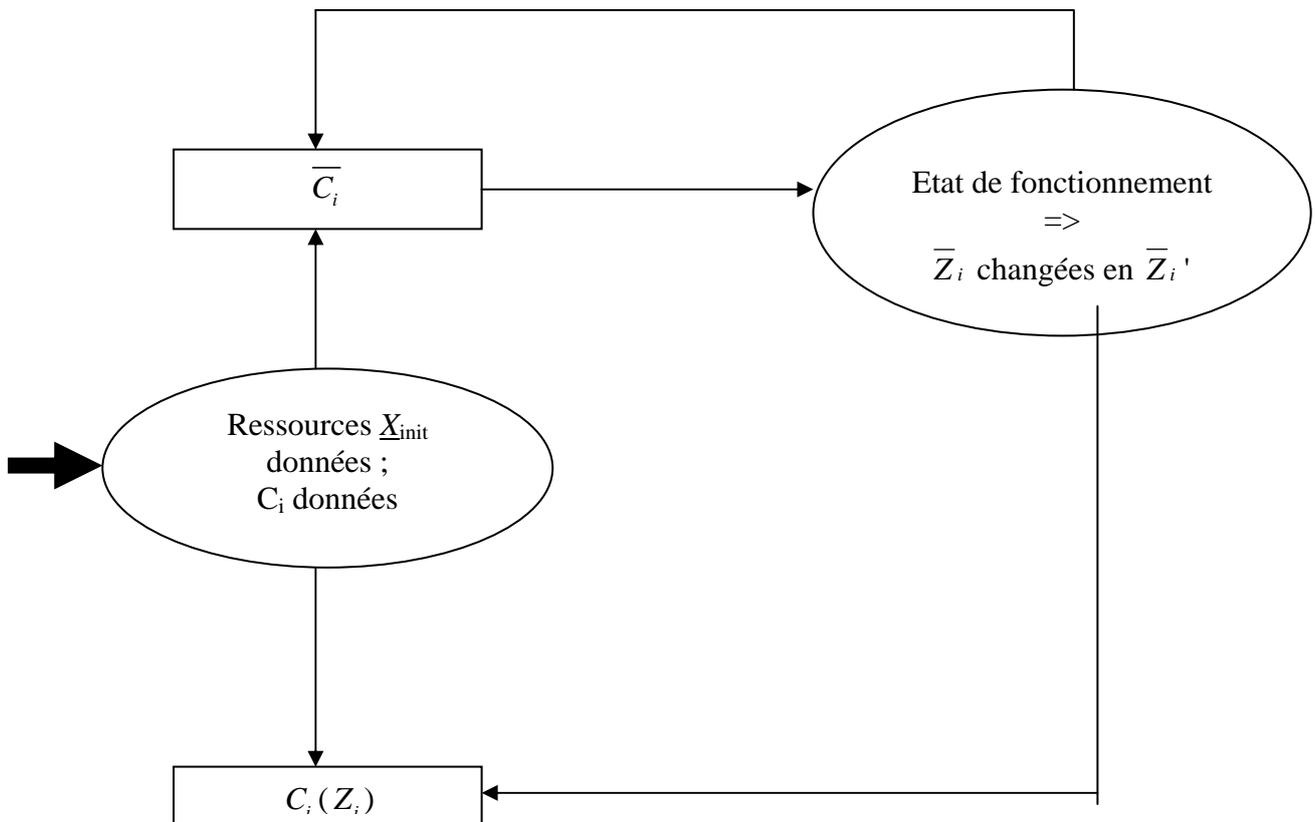
$$\overline{F_{13}} \rightarrow \overline{Z_{13}}$$

A l'enregistrement :

$$\begin{aligned}\overline{F_1} &\rightarrow Z_{14} \\ \overline{F_2} &\rightarrow Z_{15} \cdot Z_{16} \\ \overline{F_3} &\rightarrow Z_{17}\end{aligned}$$

#### IV.4.3 Vérification des conditions d'initialisation et des contraintes

Nous allons suivre la démarche schématisée ci-dessous pour évaluer la satisfaction des contraintes ou des conditions d'initialisation.



**Figure 4.3 :** Processus de vérification des conditions initiales

A)- Pour la vérification des conditions d'initialisation :

$\underline{X}_{init}$  représente les ressources initiales et  $C_i$  les conditions d'initialisation. Les variables  $Z_i$  expriment les contraintes à satisfaire pour passer les contrôles ont été définies à partir des ressources

Deux cas se présentent :

- les ressources initiales satisfont les conditions d'initialisation : on a  $C_i$

- les ressources initiales ne satisfont pas ces conditions et il y a alors deux sous- cas :
  - o l'état de fonctionnement du moment permet malgré tout de considérer les conditions d'initialisation satisfaites. On est alors dans le cas où au moins une défaillance du système a forcé la valeur d'une ou plusieurs variables  $Z_i$ .
  - o l'état de fonctionnement est suffisamment bon pour ne pas valider la satisfaction des conditions d'initialisation. Certaines valeurs des variables de  $Z_i$  apparaissant dans l'expression de la condition d'initialisation  $C_i$ , qui auraient du changer pour que  $C_i$  soit satisfaite, n'ont pas été modifiées par la prise en compte de l'état de fonctionnement.

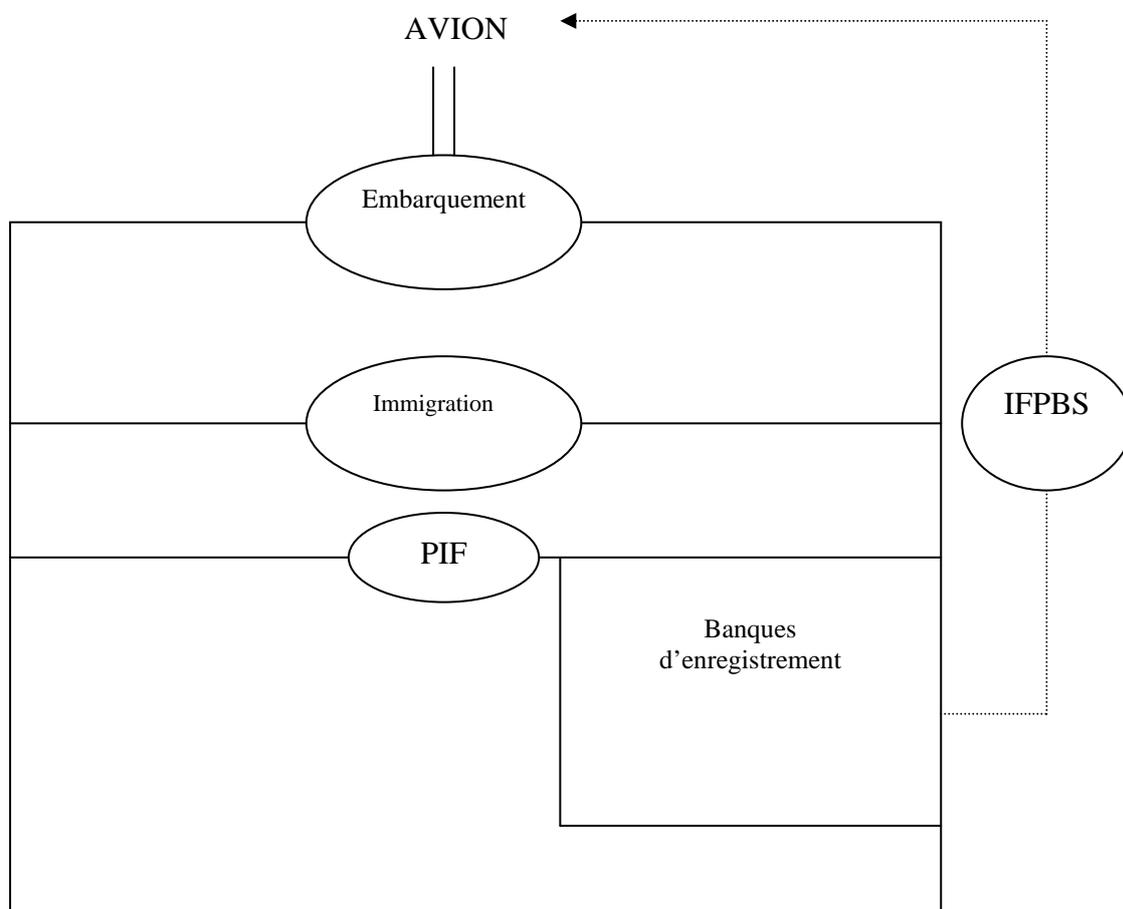
B)- Pour la vérification des contraintes :

$X_i$  représente les ressources initialisées et  $C_i$  les contraintes à satisfaire.

Les deux mêmes cas et les deux mêmes sous cas que ceux vus ci-dessus se retrouvent ici.

#### IV.4.4 Illustration de la modélisation

On considère la structure de contrôle ci-dessous :



**Figure 4.4** Composition du système considéré dans l'illustration

## IV.5 SCENARIOS

### IV.5.1 Exemples de scénarios

On rappelle qu'un scénario  $S$  est constitué par un ensemble (vecteur ressources  $\underline{X}$  donné et un vecteur d'état de fonctionnement du système  $\underline{F}$  donné).

#### **Scénario S1:**

Nous envisageons le cas d'un passager muni des ressources suivantes :

- titre de transport vrai  $\rightarrow X_{13}.X_{15} = 1$
- carte d'identité vraie  $\rightarrow X_9.X_{11} = 1$
- couteau métallique sous les vêtements  $\rightarrow X_{30} = 1$
- titre et carte d'identité concordants  $\rightarrow X_{34} = 1$

Les autres composantes de  $\overline{X}$  sont nulles.

Etat de fonctionnement supposé:

Tous les systèmes de contrôle fonctionnent excepté le portique détecteur de métaux du PIF:

$$\rightarrow \overline{F_4} \text{ et pour } i \neq 4, \text{ on a } F_i$$

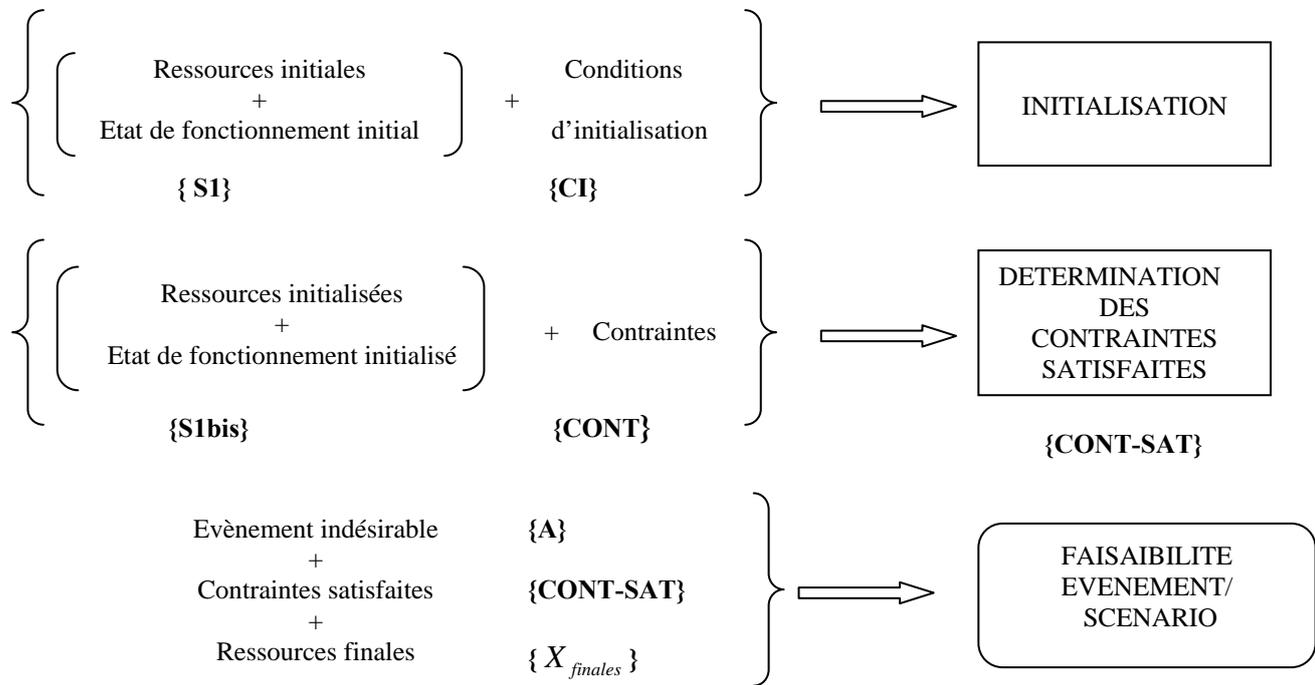
### IV.5.2 Evaluation d'un scénario

Un résultat sera l'obtention d'une réponse (oui/non) quant à la faisabilité de l'événement indésirable  $K$  sur le scénario  $S_j$ .

**Evénement indésirable A :** « un individu s'introduit avec une arme blanche dans un avion effectuant un vol domestique »

Testons la faisabilité de  $A$  sur  $S_1$  :

Le schéma suivant nous donne les différentes phases de la résolution :



**Figure 4.5** Les phases du processus de résolution

**a) Initialisation :**

Cette phase modifie  $\{S1\}$  si les conditions d'acquisition sont satisfaites. Dans notre approche simplifiée, ces conditions sont réunies quand on a  $c_1$ .

$$Z_{14} = X_{13} \cdot X_{15}$$

$$Z_{15} = X_9 \cdot X_{10}$$

$$Z_{16} = X_{11} \cdot X_{12}$$

$$Z_{17} = X_{34}$$

Dans notre exemple, on a  $c_1$

$$c_1 = (Z_{15} + Z_{16}) \cdot Z_{14} \cdot Z_{17}$$

et

$$c_1 \Rightarrow X_{17} \cdot X_{19} \cdot X_{35} \Leftrightarrow Z_{11} \cdot Z_{12}$$

Nous avons donc un scénario réinitialisé {S1bis} qui regroupe les ressources initiales plus les ressources correspondant à  $X_{17}, X_{19}, X_{35}$ .

**b) Détermination des contraintes satisfaites :**

Dans cette approche, l'ensemble des contraintes à satisfaire est  $\{c_2, c_3, c_4, c_5\}$ .

Dans cet exemple

- $c_2$  → La satisfaction de cette contrainte représente le passage du PIF. Dans cet exemple, compte tenu du vecteur des ressources acquises, nous avons  $(Z_1, Z_2, Z_3, \overline{Z_4}, \overline{Z_5}, Z_6, Z_7)$ .

Mais compte tenu du vecteur des états de fonctionnement, le portique détecteur de métaux ne marche pas ( $\overline{F_4}$ ) et d'après le schéma décrivant le fonctionnement du PIF:

$$\overline{F_4} \Rightarrow \overline{Z_1} \Rightarrow \overline{Z_2} \Rightarrow \overline{Z_3} \text{ et on doit avoir } \overline{Z_6}$$

L'état de fonctionnement permet donc de « forcer » certaines valeurs des  $Z_i$ . Nous avons alors les conditions  $(\overline{Z_1}, \overline{Z_2}, \overline{Z_3}, \overline{Z_4}, \overline{Z_5}, \overline{Z_6}, Z_7)$  qui permettent de satisfaire la contrainte :

$$c_2 = [\overline{Z_1} \cdot (\overline{Z_4} + \overline{Z_5}) + \overline{Z_2} \cdot (\overline{Z_4} + \overline{Z_5}) + \overline{Z_3} \cdot (\overline{Z_4} + \overline{Z_5}) + \overline{Z_6}] \cdot Z_7$$

Suivant la même démarche, on vérifie que  $c_3$ ,  $c_4$  et  $c_5$  sont satisfaites dans ces conditions.

**c) Faisabilité du scénario :**

Nous avons déterminé les contraintes satisfaites qui nous permettent d'affirmer que la cible peut parvenir jusqu'à l'intérieur de l'avion.

Dans les ressources finales, qui dans notre exemple sont les mêmes que les ressources initialisées, figure une arme blanche non détectée.

**d) Conclusion :** L'événement A est donc compatible avec le scénario S1.

Nous avons étudié l'accessibilité aéroportuaire en matière de sûreté à travers une approche par scénario. Une approche fiabiliste n'aurait pas fourni de résultats numériquement significatifs. Les mesures de sûreté ont jusqu'à présent souvent été des mesures curatives consécutives à des drames.

L'évaluation de la faisabilité d'événements indésirables a été privilégiée pour tenter d'identifier des actions plus préventives :

*Un événement indésirable clairement identifié peut-il se produire avec un scénario de ressources et d'état de fonctionnement des contrôles donné ?*

La recherche d'un outil d'aide à la réponse à cette question nous a amené à modéliser l'accessibilité à l'intérieur d'un aéroport dans le cadre du formalisme des problèmes de satisfaction de contraintes.

Il s'agit d'une première étude qui ne considère pas une architecture aéroportuaire détaillée ; nous pensons néanmoins que l'approche retenue peut permettre une systématisation de l'étude des événements indésirables et une adaptabilité à différentes architectures plus concrètes.

La systématisation du problème nous a conduit à utiliser un « solveur » de contraintes de type Prolog.

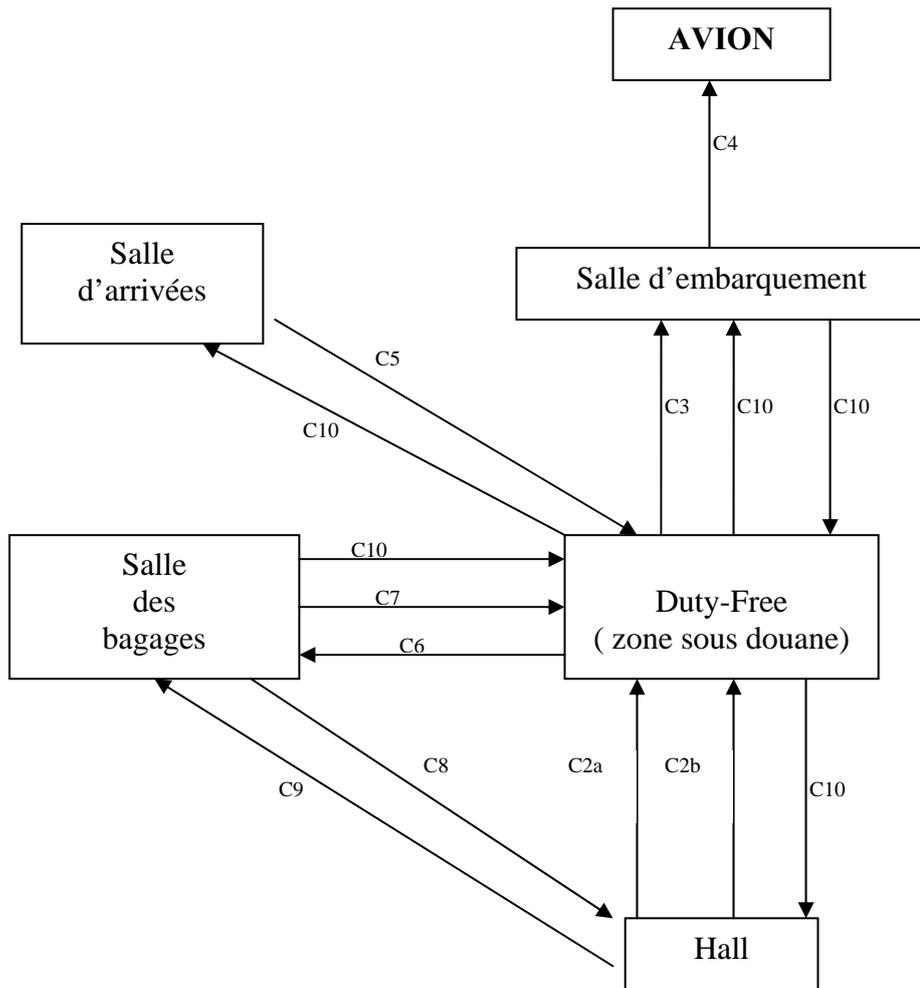
## **IV.6 Illustration de la mise en œuvre**

Afin d'illustrer l'approche proposée, celle-ci est mise en œuvre sur une structure de contrôle particulière associée à plusieurs scénarios. Certains scénarios permettent de valider l'approche proposée, et d'autres permettent d'analyser des cas très complexes.

### **Choix de la structure retenue pour l'évaluation**

Pour cela, une structure aéroportuaire a été choisie afin de réaliser ces tests. La structure retenue, même si elle ne correspond pas à un aéroport existant, comporte tous les éléments qui doivent permettre de mener complètement l'étude.

On va utiliser la structure suivante présentée sous forme graphique.



**Figure 4.6** Structure du terminal de passagers considéré

A cette structure est associé un ensemble de contraintes logiques intégrées dans la base de connaissance du programme :

c2a et c2b → Représentent les deux PIF.

c3 → Contrôle d'émigration.

c4 → Contrôle dans la porte d'embarquement.

c5 → Contrôle d'immigration.

c6 → Passage par porte anti-retour dans le sens permis.

c7 → Passage par porte anti-retour dans le sens interdit.

c8 → Passage par la douane dans le sens permis.

c9 → Passage par la douane dans le sens interdit.

c10 → Porte d'ouverture avec badge magnétique type P.

Les huit scénarios considérés, ainsi que leur traitement par le modèle logique proposé dans ce chapitre sont présentés en annexe 5 au présent document.

## **IV.7 Conclusion**

L'approche développée dans ce chapitre permet d'évaluer le fonctionnement du système de contrôle des passagers du point de vue logique en permettant de traiter différents scénarios uniques d'attaque du système. Ces scénarios correspondent à des situations extrêmement rares. Cette approche peut être développée et améliorée pour en faire un véritable outil d'analyse. On pense pour cela à :

- l'amélioration de l'interface utilisateur du système, développée de façon qu'elle rende plus efficace l'interaction avec l'analyste ;
- A la création d'une base de connaissances générale permettant de couvrir les principaux cas d'études concernant : les types de ressources, les différents types de contraintes, les différents types d'interaction entre cibles, de façon à être capable d'analyser les dangers potentiels associés au traitement des passagers dans n'importe quel aéroport ;
- au développement d'une approche systématique de génération de scénarios permettant entre autre d'intégrer dans l'analyse les personnels de service du terminal et les personnels des compagnies aériennes, dont les équipages.

Malheureusement cette approche ne permet pas de tenir compte des conditions réelles d'opération du système de sûreté qui pour la plupart des passagers, ceux qui ne représentent pas une menace, et quel que soit leur trajet (origine-destination), doit être le plus transparent possible.

Ceci suppose d'une part l'organisation des flux de passagers pour leur traitement par le système et d'autre part la mobilisation, dans un cadre dynamique accompagnant les niveaux de demande, des équipements et des ressources humaines destinées au contrôle des passagers.

Ces deux aspects de la gestion du système de contrôle des passagers seront abordés dans les chapitres suivants.

**CHAPITRE V**

**APPROCHE PROBABILISTE**

**DE**

**L'ÉVALUATION DE LA SÛRETE AÉROPORTUAIRE**

## **V.1 Introduction**

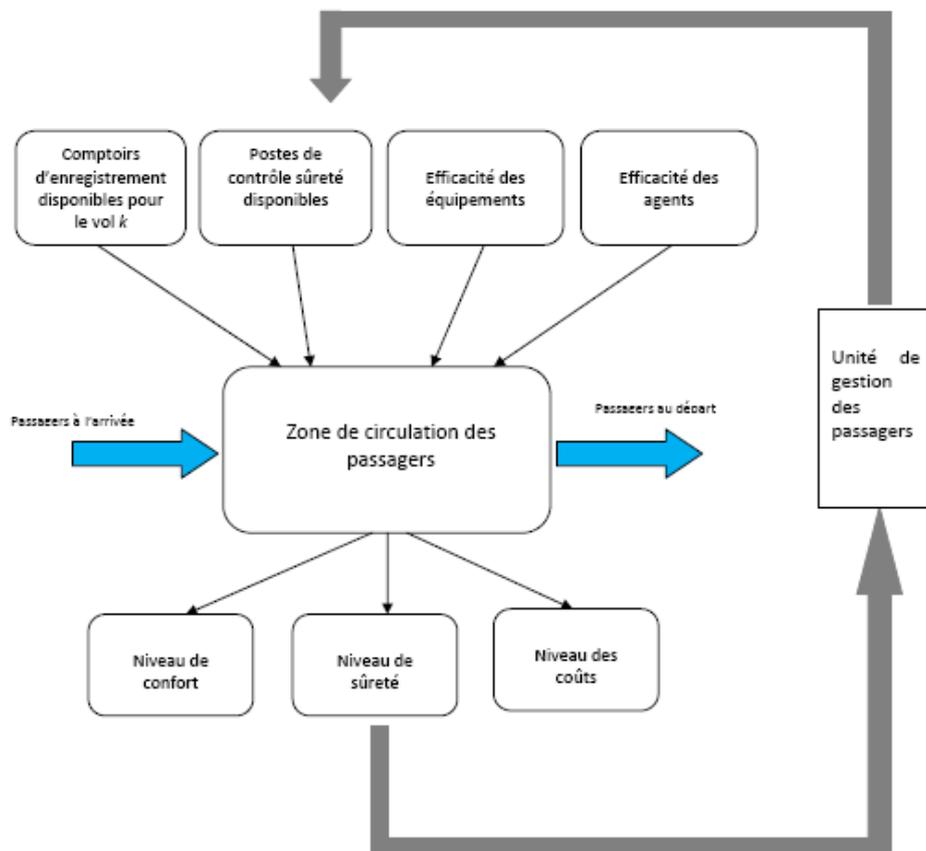
Dans ce chapitre, on s'intéresse à l'évaluation du système de contrôle des flux de passagers à l'embarquement, quel que soit leur trajet ultérieur, au travers d'une approche probabiliste. Il s'agit ici d'organiser au mieux les flux de passagers à l'embarquement compte tenu des performances du système de contrôle dans son ensemble ou des performances des éléments qui le constituent, personnel inclus. Les performances des éléments du système de contrôle sont fournies sous forme de probabilité de bon fonctionnement face à la menace ou de mauvais fonctionnement face à une situation sans danger. En effet, l'intensification des mesures de contrôle destinées à diminuer la probabilité de défaillance (non détection d'une menace) a inévitablement des conséquences néfastes sur l'ensemble des passagers :

- allongement de la durée des attentes aux postes de contrôles d'autant plus que la probabilité de fausses alarmes augmentant de nombreux contrôles, finalement se révélant inutiles, devront être réalisés.
- pénibilité et inconfort croissants pour les personnes fragiles (enfants, femmes enceintes, malades et personnes âgées).
- nécessité d'équipements et de personnels supplémentaires dont le coût sera répercuté fatalement sur le prix des billets d'avion.

Après l'établissement d'un modèle d'évaluation global basé sur un traitement série indifférencié des passagers, on s'intéresse à une structure de contrôle à deux étapes qui met en évidence l'intérêt de réaliser des pré-filtrages et d'organiser les passagers par groupes séparés. Ceci conduit alors à la formulation de problèmes d'optimisation permettant d'améliorer les performances du système de contrôle, ou tout au moins d'explorer la frontière de Pareto de problèmes d'optimisation éminemment multicritères. Il est alors possible, côté passagers, d'établir ou de modifier des éléments de procédures opérationnelles conduisant à l'amélioration des performances du système de contrôle des passagers.

## **V.2 Evaluation probabiliste globale**

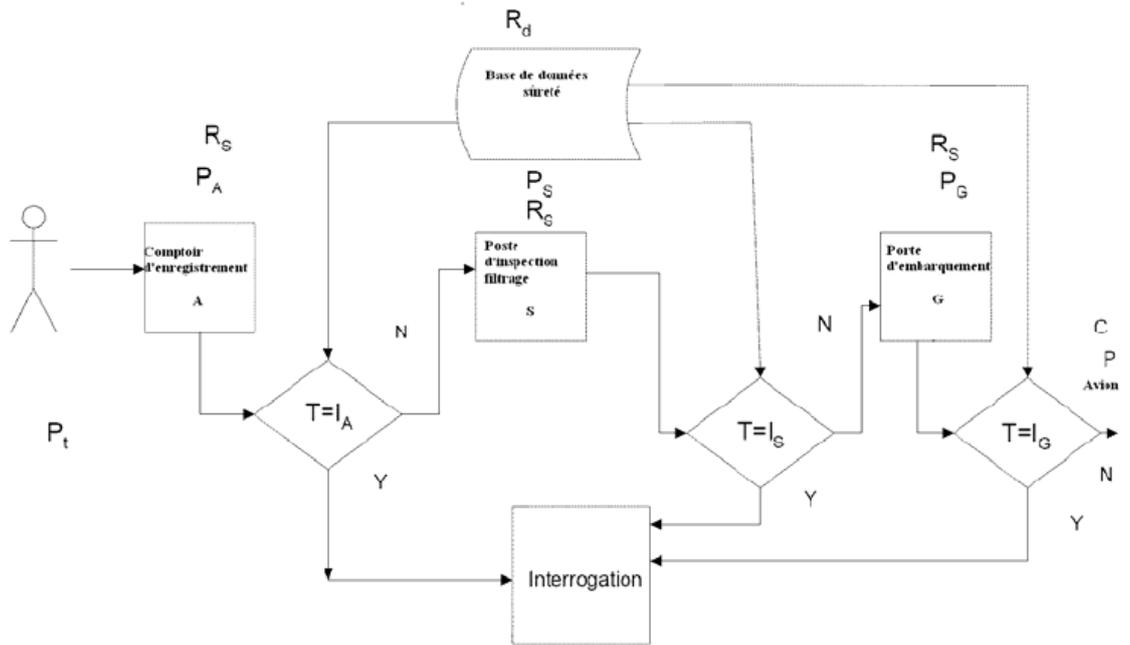
Dans ce paragraphe on s'intéresse à une première évaluation probabiliste de la sûreté à l'embarquement où l'ensemble du système de contrôle est appréhendé de façon globale. Le système considéré est représenté sur la figure V.1 ci-dessous.



**Figure 5.1** Le système de traitement des passagers au départ

On considère ici que le passager au départ est traité de la façon suivante :

Lors de son arrivée dans l'aérogare, le passager se rend à l'enregistrement. C'est l'occasion d'utiliser une base de données pour vérifier si l'identité déclarée par le passager fait partie de listes de passagers dangereux. Si son identité y est reconnue, le passager est soumis à un interrogatoire par les autorités. Sinon, il continue son trajet en direction du poste suivant. Cette procédure est répétée à chaque poste. L'efficacité de la comparaison de l'identité du passager avec celles des bases de données est supposée être représentée par un paramètre de fiabilité  $R_d$  caractérisant la base de données, alors que l'efficacité des équipements de contrôle associés au personnel les opérant est supposée être caractérisée par un paramètre de fiabilité  $R_s$ . Ce système est représenté ci-dessous :



**Figure 5.2** traitement du flux des passagers

Les paramètres caractéristiques du système du comportement probabiliste du système sont les suivants:

$P_{ter}$  : probabilité que le passager soit un terroriste

$R_{enr}, R_{cont}, R_{emb}$  : fiabilité des postes d'enregistrement, contrôle et embarquement

$R_{db}$  : fiabilité de la base de données.

Ces données de fiabilité couvrent deux situations, celle où il y a présence effective de la menace (« terroriste ») et celle où cette menace n'existe pas. On distingue donc :

$P_{ND}^{enr}$  : probabilité de non détection du terroriste au comptoir d'enregistrement,

$P_{ND}^{sur}$  : probabilité de non détection du terroriste au contrôle de sûreté,

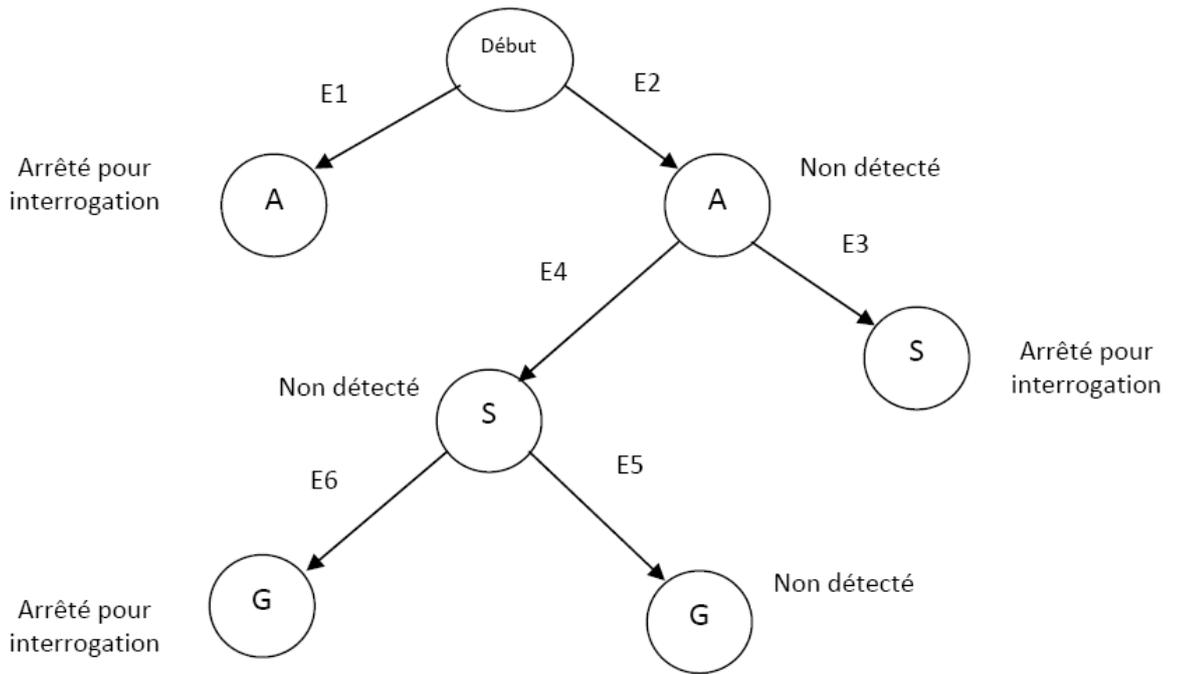
$P_{ND}^{emb}$  : probabilité de non détection du terroriste à la porte d'embarquement.

Le cheminement d'un passager présentant une menace peut être modélisé par le diagramme ci-dessous. On y voit les successions des étapes que ce passager suit en fonction des informations fournies par la base de données à laquelle se réfère l'agent impliqué à chaque étape du contrôle.

Les événements pris en compte dans ce cheminement sont en ce qui concerne les situations de menace:

E1 : terroriste détecté au comptoir d'enregistrement,

- E2 : terroriste non détecté au comptoir d'enregistrement,
- E3 : terroriste détecté au contrôle de sûreté,
- E4 : terroriste non détecté au contrôle de sûreté,
- E5 : terroriste détecté à la porte d'embarquement,
- E6 : terroriste non détecté à la porte d'embarquement.



**Figure 5.3** Processus de traitement du système de sécurité

Les probabilités qui permettent de caractériser les performances du système face à une menace sont :

$P_{enr}$  : probabilité de détecter le terroriste au comptoir d'enregistrement

$P_{sur}$  : probabilité de détecter le terroriste au contrôle sûreté

$P_{emb}$  : probabilité de détecter le terroriste à la porte d'embarquement

On a alors :

$$P_{enr} = (1 - P_{ND}^{enr}) (1 - R_{BD}) \quad (5.1.a)$$

$$P_{sur} = (1 - P_{enr}) (1 - P_{ND}^{sur}) \quad (5.1.b)$$

$$P_{emb} = (1 - P_{sur}) (1 - P_{ND}^{emb}) \quad (5.1.c)$$

Finalement la probabilité de détection avec succès,  $P_{sd}$ , d'un terroriste sera donnée par :

$$P_{sd} = P_{enr} + P_{sur} + P_{emb} \quad (5.2)$$

Les événements pris en compte dans le cheminement des passagers à l'embarquement pour les situations de non menace sont :

- F1 : le passager est faussement détecté au comptoir d'enregistrement,
- F2 : le passager n'est pas détecté au comptoir d'enregistrement,
- F3 : le passager est faussement détecté au contrôle de sûreté,
- F4 : le passager n'est pas détecté au contrôle de sûreté,
- F5 : le passager est faussement détecté à la porte d'embarquement,
- F6 : le passager est non détecté à la porte d'embarquement.

On considère que chaque fois que le passager est faussement détecté, l'erreur est réparée et le passager est remis dans le circuit normal d'embarquement au point où il l'avait quitté. Toute personne définitivement retenue sera considérée comme appartenant à une situation de menace.

Les probabilités qui permettent de caractériser les performances du système face à une situation normale sont :

$P_{FA}^{enr}$  : probabilité de fausse alarme au comptoir d'enregistrement,

$P_{FA}^{sur}$  : probabilité de fausse alarme au contrôle de sûreté,

$P_{FA}^{emb}$  : probabilité de fausse alarme à la porte d'embarquement.

La probabilité (succès) de non détection d'un passager qui n'est pas une menace est donnée par :

$$P_{pax} = (1 - P_{FA}^{enr}) (1 - P_{FA}^{sur}) (1 - P_{FA}^{emb}) \quad (5.3)$$

Cette approche globale basée sur une structure purement série du traitement des passagers ne permet pas de tirer des conclusions quand à l'amélioration des procédures opérationnelles.

### V.3 Evaluation probabiliste des postes de contrôle

Si on veut aller au delà des résultats globaux obtenus au paragraphe précédent, il s'agit de décrire tout d'abord le système de contrôle avec plus de détails et de distinguer différents types de menaces.

#### V.3.1 Evaluation probabiliste d'un système de contrôle avec pré-filtrage

On considère tout d'abord qu'il y a deux types de postes de contrôle : ceux qui sont obligatoires  $C_1$  et ceux qui viennent renforcer ces contrôles dans certaines circonstances  $C_2$ . On considère que tous ces postes de contrôle sont capables de détecter différents types de menaces  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_\mu\}$  et que s'il y a une menace, la probabilité que celle-ci soit de type  $i$  est  $\pi_i$ .

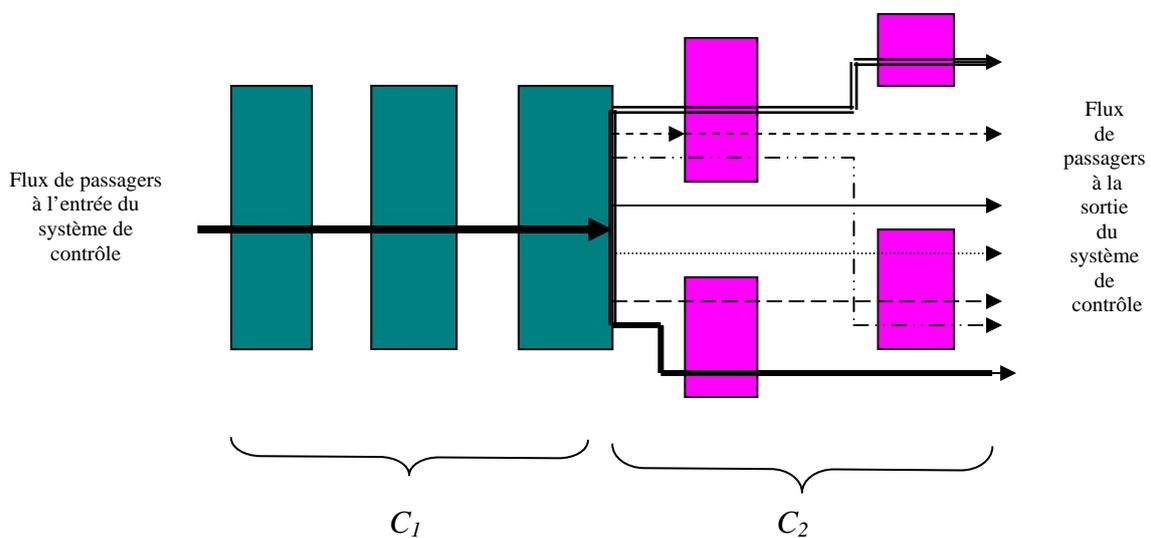


Figure 5.4 Exemple de structure de contrôle

Le bon fonctionnement d'un poste de contrôle  $j$  peut être décrit par :

- la probabilité de détecter une menace réelle de type  $k$  au poste de contrôle  $j$  est  $P_{kj}$
- la probabilité de ne pas générer une fausse alarme au poste de contrôle  $j$  est  $q_j$

On suppose que les passagers sont affectés à  $c$  groupes. Chaque groupe est alors traité de façon différente en passant par tous les postes de  $C_1$  et seulement certains postes de contrôle appartenant à  $C_2$ . La succession des opérations de contrôle est ici caractérisant pour chaque groupe. On peut donc majorer le nombre de groupes considérés  $N$  par le nombre de sous ensembles distincts et non vides de  $C_2$  :

$$1 \leq N \leq 2^{|C_2|} - 1 \quad (5.4)$$

Soit  $G_i$  le  $i^{\text{ème}}$  groupe de passagers auquel est associé un ensemble de postes de contrôle  $C_2^i \subset C_2$  et soit  $x_i$  la proportion de passagers assignés au groupe  $G_i$ .

### V.3.2 Modèle probabiliste de performances

La probabilité de fausse alarme  $P_{FA}$  du système de contrôle est alors donnée par :

$$P_{FA} = (1 - \tau) \left( (1 - \prod_{j \in C_1} q_j) \left( \sum_{i=1}^N ((1 - \prod_{j \in C_2^i} q_j) x_i) \right) \right) \quad (5.5)$$

où  $\tau$  est la probabilité qu'un passager pris au hasard soit une menace. Cette dernière contrainte peut s'écrire aussi :

$$P_{FA} = (1 - \tau_A) \sum_{i=1}^N ((1 - \prod_{j \in C_2^i} q_j) x_i) \quad (5.6)$$

avec

$$\tau_A = \tau + (1 - \tau) \left( \prod_{j \in C_1} q_j \right) \quad (5.7)$$

La probabilité de laisser passer sans détection un passager porteur de menace  $P_{ND}$  est ici donnée par :

$$P_{ND} = \tau \left( \sum_{m=1}^{\mu} \pi_m \prod_{j \in C_1} (1 - p_{mj}) \right) \left( \sum_{i=1}^N x_i \left( \sum_{m=1}^{\mu} \pi_m \prod_{j \in C_2^i} (1 - p_{mj}) \right) \right) \quad (5.8)$$

ou encore :

$$P_{ND} = \tau_D \left( \sum_{i=1}^N x_i \left( \sum_{m=1}^{\mu} \pi_m \prod_{j \in C_2^i} (1 - p_{mj}) \right) \right) \quad (5.9)$$

avec

$$\tau_D = \tau \left( \sum_{m=1}^{\mu} \pi_m \prod_{j \in C_1} (1 - p_{mj}) \right) \quad (5.10)$$

On constate donc, que même si les groupes de passagers sont constitués indépendamment de toute information ou contrôle préalable permettant d'effectuer un premier triage, les probabilités de non détection et de fausse alarme dépendent de la taille et du nombre de ces groupes. Une borne inférieure de la probabilité de non détection  $P_{ND}^{B \min}$  sera donnée par la solution du problème de programmation linéaire continue :

$$\min_{x_i, i=1 \text{ à } N} P_{ND} = \tau_D \left( \sum_{i=1}^N x_i \left( \sum_{m=1}^{\mu} \pi_m \prod_{j \in C_2^i} (1 - p_{mj}) \right) \right) \quad (5.11)$$

avec 
$$\sum_{i=1}^N x_i = 1 \quad (5.12)$$

et 
$$0 \leq x_i \leq 1 \quad i = 1, \dots, N \quad (5.13)$$

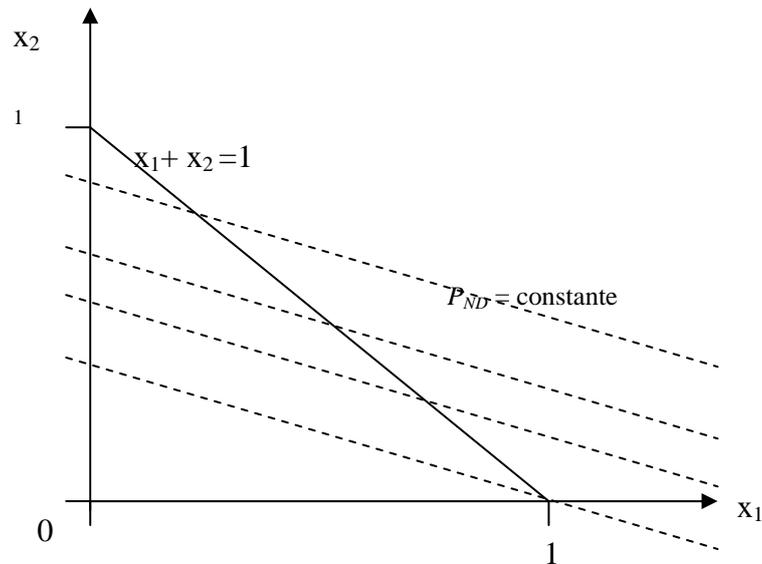
de solution :

$$x_{i_{\min}} = 1, \quad x_i = 0 \quad \text{si } i \neq i_{\min} \quad (5.14)$$

où  $i_{\min}$  est tel que :

$$\sum_{m=1}^{\mu} \pi_m \prod_{j \in C_2^{i_{\min}}} (1 - p_{mj}) = \min_{i, i=1 \text{ à } N} \left\{ \sum_{m=1}^{\mu} \pi_m \prod_{j \in C_2^i} (1 - p_{mj}) \right\} \quad (5.15.a)$$

Ce résultat est illustré dans le cas bi dimensionnel sur la figure ci-dessous :



**Figure 5.5** Solution graphique du problème de répartition

On a donc :

$$P_{ND}^{B \min} = \tau_D \sum_{m=1}^{\mu} \pi_m \prod_{j \in C_2^{i \min}} (1 - p_{mj}) \quad (5.16. a)$$

Alors qu'une valeur moyenne serait:

$$P_{ND}^{moy} = (\tau_D / N) \left( \sum_{i=1}^N \left( \sum_{m=1}^{\mu} \pi_m \prod_{j \in C_2^i} (1 - p_{mj}) \right) \right) \quad (5.16.b)$$

Une borne supérieure sera :

$$P_{ND}^{B \max} = \tau_D \sum_{m=1}^{\mu} \pi_m \prod_{j \in C_2^{i \max}} (1 - p_{mj}) \quad (5.16.c)$$

avec  $i_{\max}$  tel que :

$$\sum_{m=1}^{\mu} \pi_m \prod_{j \in C_2^{i \max}} (1 - p_{mj}) = \max_{i, i=1 \text{ à } N} \left\{ \sum_{m=1}^{\mu} \pi_m \prod_{j \in C_2^i} (1 - p_{mj}) \right\} \quad (5.15.b)$$

## V.4 Optimisation probabiliste de l'affectation des passagers aux postes de contrôle

Dans ce paragraphe on s'intéresse à l'affectation des passagers aux différents postes de contrôle de façon à optimiser la performance du contrôle des passages. On considèrera une série de problèmes associés à des hypothèses de plus en plus complexes.

### V.4.1 Minimisation de la probabilité de non détection sans pré-classification

Contrairement à Babu, Batta et Lin qui ont cherché à minimiser la probabilité de fausses alarmes dans l'ensemble du système de contrôle, on cherche ici à minimiser la probabilité de non détection d'une menace tout en essayant de garantir un niveau maximum de fausses alarmes et en tenant compte de la disponibilité moyenne des postes de contrôle.

La proportion de passagers qui passent par le poste de contrôle  $j$  est donné par :

$$y_j = 1 \text{ si } j \in C_1, \quad y_j = \sum_{i=1, j \in C_2^i}^N x_i \text{ si } j \in C_2 \quad (5.17)$$

Soit  $\bar{t}_j$  le temps moyen de traitement au poste de contrôle  $j$  de  $C_1$  ou de  $C_2$  s'il n'y a pas d'alarme et  $\Delta t_j$  est le temps supplémentaire nécessaire pour traiter d'une alarme en ce poste.

La probabilité d'avoir une alarme au poste  $j$  est donnée par :

$$P_A^j = \tau \left( \sum_{k=1}^{\mu} p_{kj} \pi_k \right) + (1-\tau) (1-q_j) y_j \quad (5.18.a)$$

ou

$$P_A^j = \alpha_j + \beta_j y_j \quad (5.18.b)$$

avec

$$\alpha_j = \tau \left( \sum_{k=1}^{\mu} p_{kj} \pi_k \right) \quad \text{et} \quad \beta_j = (1-\tau) (1-q_j) \quad (5.19)$$

La durée moyenne d'occupation du poste  $j$  est donnée par :

$$\bar{T}_j = (1-P_A^j) \bar{t}_j + P_A^j (\bar{t}_j + \Delta t_j) D \quad (5.20.a)$$

ou

$$\bar{T}_j = (\bar{t}_j + P_A^j \Delta t_j) D \quad (5.20.b)$$

où  $D$  est la demande totale durant la période  $T$  considérée.

Le nombre de chaînes de contrôle de type  $C_1$  en opération en parallèle,  $n_1$ , doit être tel que :

$$(\bar{t}_j + P_A^j \Delta t_j) D \leq n_1 T \quad j \in C_1 \quad (5.21.a)$$

Celui-ci ne dépendant pas de la taille et du nombre de groupes.

Le nombre de postes en parallèle de type  $j$  de  $C_2$ ,  $n_{2j}$ , doit être tel que :

$$(\bar{t}_j + P_A^j \Delta t_j) D \leq n_{2j} T \quad j \in C_2 \quad (5.21.b)$$

Ceci conduit alors à formuler le problème d'optimisation *PND*:

$$\text{Min} \left( \sum_{i=1}^N \left( \sum_{m=1}^{\mu} \pi_m \prod_{j \in C_2^i} (1-p_{mj}) \right) x_i \right) \quad (5.22)$$

sous les contraintes

$$(1 - \tau_A) \sum_{i=1}^N \left( (1 - \prod_{j \in C_2^i} q_j) x_i \right) \leq P_{FA}^{\max} \quad (5.23)$$

où  $P_{FA}^{\max}$  est le niveau maximum de probabilité de fausse alarme retenu. On remarquera que l'on a supprimé le terme proportionnel  $\tau$  de l'expression du critère, en effet celui-ci est en général inconnu, de même  $\tau_A$  sera ici approximé par :

$$\tilde{\tau}_A = \left( \prod_{j \in C_1} q_j \right) \quad (5.24)$$

On a à considérer aussi les contraintes de disponibilité temporelle des postes de contrôle de  $C_2$  pendant la période  $T$ :

$$\sum_{i=1, j \in C_2^i}^N x_i \leq y_j^{\max} \quad j \in C_2 \quad (5.25)$$

avec

$$y_j^{\max} = (n_{2j} T / D - (\bar{t}_j + \alpha_j \Delta t_j)) / (\beta_j \Delta t_j) \quad j \in C_2 \quad (5.26)$$

Et finalement on a les contraintes de proportion :

$$\sum_{i=1}^N x_i = 1 \quad (5.27.a)$$

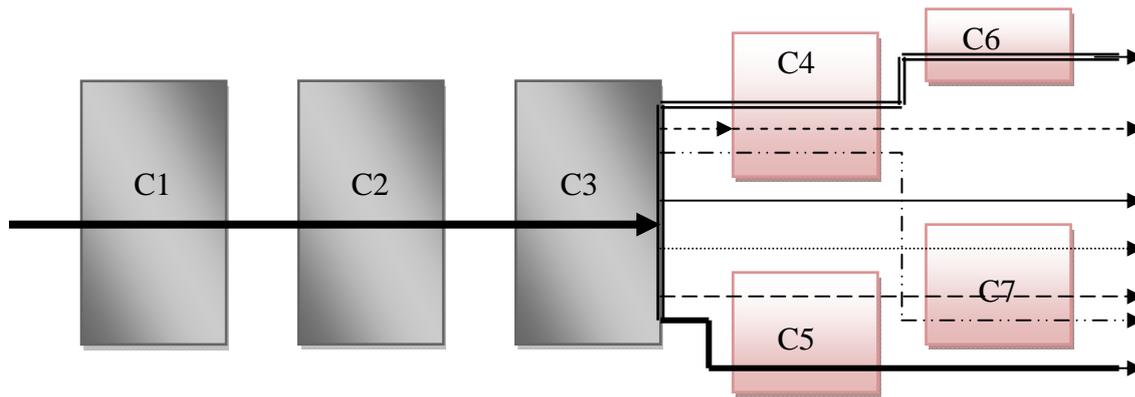
$$0 \leq x_i \leq 1 \quad i = 1, \dots, N \quad (5.27.b)$$

Ce problème de programmation linéaire continue (relations X,Y et Z) est paramétré par  $N$ . Comme dans le cas de la formulation proposée par Babu, Batta et Lin, on peut observer que la solution correspondant à  $N_{max} = 2^{|C_2|} - 1$  sera toujours au moins aussi bonne que la solution de ce problème avec  $N < 2^{|C_2|} - 1$ . On retiendra donc ici le cas  $N = N_{max}$ .

Soit  $P_{ND}^*$  la solution du problème précédent. Les probabilités associées aux performances d'un poste (la probabilité de détecter une menace réelle de type  $k$  au poste de contrôle  $j$  est  $p_{kj}$ , la probabilité de ne pas générer une fausse alarme au poste de contrôle  $j$  est  $q_j$ ) sont telles que les mesures prises au niveau d'un poste pour faire que la première soit très élevée font que l'autre soit non négligeable). Ceci se traduit par un antagonisme au niveau des objectifs qui leur sont associés et il semble dans ce cas intéressant de tracer, pour différents niveaux de  $P_{FA}^{\max}$  saturants à la solution optimale, la frontière de Pareto correspondante, telle qu'illustrée sur la figure 5.6.

### V.4.2 Exemple d'application numérique

On considère ici la situation de la figure 5.6 ci-dessous :



**Figure 5.6** Exemple de structure de contrôle

On considère qu'il n'y a que 4 types de menaces. Le tableau suivant donne les probabilités de détection associées aux postes par type de menace, les probabilités par type de menace et les probabilités de fausses alarmes par poste.

-	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>C7</i>	$\pi$
$P_{1j}$	0.990	0.980	0.850	0.750	0.40
$P_{2j}$	0.850	0.995	0.965	0.550	0.25
$P_{3j}$	0.980	0.950	0.580	0.990	0.25
$P_{4j}$	0.800	0.975	0.995	0.780	0.10
$q_j$	0.999	0.999	0.998	0.998	-

**Tableau 5.1** Distributions de probabilités adoptées

Sur la figure 5.6 on a considéré sept traitements différents dans la deuxième phase du contrôle :

<i>Proportion</i>	<i>Traitement</i>
$x_1$	<i>aucun</i>
$x_2$	<i>C4</i>
$x_3$	<i>C4 - C6</i>
$x_4$	<i>C4 - C7</i>
$x_5$	<i>C5</i>
$x_6$	<i>C5 - C7</i>
$x_7$	<i>C7</i>

**Tableau 5.2** Circuits de contrôle en phase II

Les durées de traitement normaux et de traitement avec alarme sont représentées sur le tableau ci-dessous :

-	C4	C5	C6	C7
$\bar{t}_j$	10	15	10	15
$\Delta t_j$	100	150	100	150

**Tableau 5.3** Durées de traitement aux postes de contrôle (en secondes)

On prend  $T = 10$  minutes et au départ, une demande de 1600 passagers/heure à passer au contrôle. On suppose ici que tous les postes de contrôle sont constitués de 6 postes identiques opérant simultanément.

On arrive à la formulation suivante pour le problème précédent :

$$\begin{aligned} \min x_1 + 0.0665 x_2 + 0.00625125 x_3 + 0.022325 x_4 \\ + 0.04925 x_5 + 0.0032375 x_6 + 0.237 x_7 \end{aligned} \quad (5.28)$$

avec les contraintes :

$$x_2 + 3 x_3 + 3 x_4 + x_5 + 3 x_6 + 2 x_7 \leq 1002 P_{FA}^{\max} \quad (5.29)$$

$$\begin{aligned} x_2 + x_3 + x_4 &\leq 1.525 \\ x_5 + x_6 &\leq 0.9625 \\ x_3 + x_6 &\leq 0.9625 \\ x_4 + x_6 + x_7 &\leq 0.9625 \end{aligned} \quad (5.30)$$

$$\sum_{i=1}^7 x_i = 1 \quad (5.31.a)$$

$$0 \leq x_i \leq 1 \quad i = 1, \dots, 7 \quad (5.31.b)$$

Prenant  $P_{FA}^{\max} = 0.003$ , on obtient la solution suivante :

$$x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 0.30729, x_4 = 0.03751, x_5 = 0, x_6 = 0.65520, x_7 = 0 \quad \text{qui}$$

correspond à une probabilité de non détection d'une menace de 0.00488 pour une probabilité de fausse alarme de 0.00300.

Faisant varier la demande totale, on obtient le tableau suivant :

D	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>	P <sub>ND</sub>	P <sub>FA</sub>
1400	0.0	0.0	0.33672	0.0	0.0	0.66328	0.0	0.00435	0.00300
1600	0.0	0.0	0.30729	0.03751	0.0	0.65520	0.0	0.00448	0.00300
2000	0.0	0.01254	0.29901	0.03232	0.02301	0.61194	0.02321	0.00476	0.00299
2400	0.12388	0.03452	0.25161	0.05223	0.03333	0.32712	0.17731	0.00628	0.00267
3200	0.42331	0.09612	0.08560	0.05726	0.09721	0.14281	0.09770	0.01329	0.00213

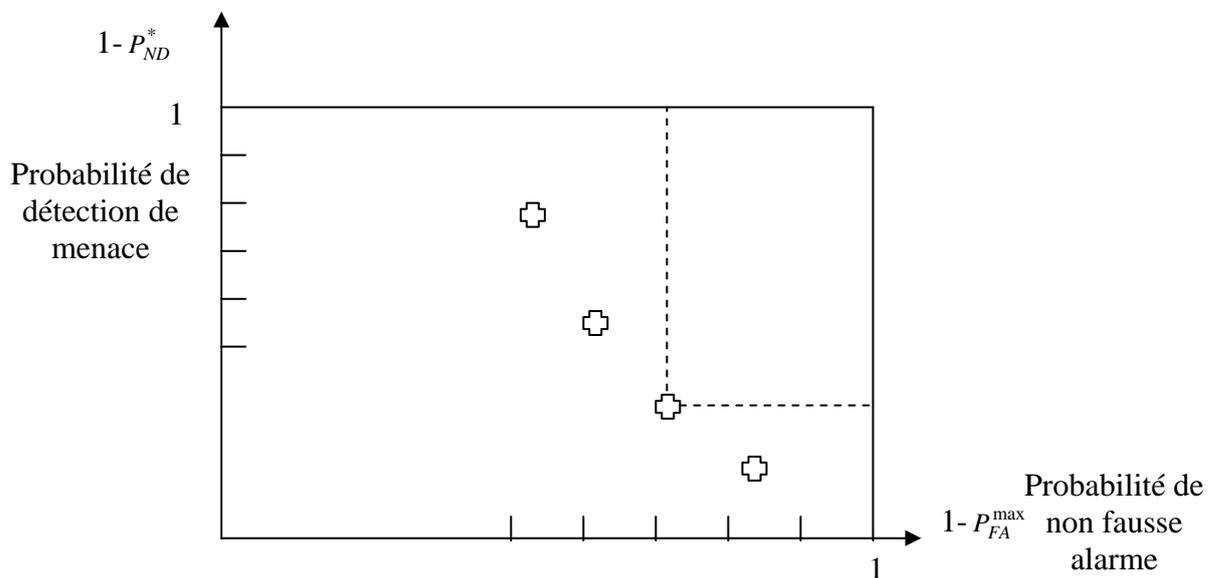
**Tableau 5.4** Solutions pour différents niveaux de demande

On constate que si le niveau de demande devient trop grand, la solution tend à laisser passer directement de plus en plus de passagers. Il est clair que dans ce cas là un problème de sous-dimensionnement du système de contrôle des passagers se pose.

$P_{FA}^{\max}$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$P_{ND}$
0.00285	0.0	0.02105	0.23541	0.13908	0.13307	0.44116	0.01023	0.00482
0.00290	0.0	0.00015	0.24452	0.10043	0.06742	0.58320	0.00428	0.00475
0.00295	0.0	0.0	0.27745	0.06761	0.02381	0.63113	0.0	0.00461
0.00300	0.0	0.0	0.30729	0.03751	0.0	0.65520	0.0	0.00448

**Tableau 5.5** Solutions pour différents niveaux de  $P_{FA}^{\max}$  (demande= 1600 pax/h)

La figure 5.7 représente quelques points de la frontière de Pareto pour un niveau de demande de 1600 passagers/heure.



**Figure 5.7** Frontière de Pareto pour l'efficacité du système

### V.4.3 Optimisation de l'affectation avec présélection

On suppose ici que la séquence de contrôles obligatoires  $C_1$  permet de réaliser un premier classement des passagers vis à vis des menaces qu'ils peuvent représenter. On considère que si à chaque poste de contrôle une évaluation est faite, les classes de passagers considérées seront au nombre de  $M=2^{|C_1|}$ . On suppose ici disposer de probabilités a priori  $\tau_m, m=1 \text{ à } M$ , qu'un passager de classe  $m$  représente une menace réelle. On a donc :

$$\sum_{m=1}^M z_m = 1 \quad \text{avec} \quad 0 \leq z_m \leq 1 \quad m=1 \text{ à } M$$

Remarquons qu'auparavant nous avons :  $z_1 = 1 - \tau$  et  $z_2 = \tau$ . On supposera ici que  $z_1$  est la proportion de passagers qui semblent ne présenter aucune menace.

On introduit les variables  $x_{im}$  qui représentent la proportion de passagers de la classe de menace  $m$ ,  $m = 1$  à  $M$ , qui sont assignés au groupe  $i$ ,  $i = 1$  à  $N$ . On a donc :

$$\sum_{i=1}^N x_{im} = z_m \quad m = 1 \text{ à } M$$

$$0 \leq x_{im} \leq 1 \quad i = 1 \text{ à } N, m = 1 \text{ à } M$$

La probabilité  $P_{ND}^2$  de non détection dans la deuxième phase du contrôle (poste de contrôle de  $C_2$ ), est maintenant donnée par :

$$P_{ND}^2 = \sum_{m=1}^M \tau_m \left( \sum_{i=1}^N x_{mi} \left( \sum_{u=1}^{\mu} \pi_u \prod_{j \in C_2^i} (1 - p_{uj}) \right) \right)$$

ou encore

$$P_{ND}^2 = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N (\tau_m \left( \sum_{u=1}^{\mu} \pi_u \prod_{j \in C_2^i} (1 - p_{uj}) \right) ) x_{mi}$$

On peut alors formuler le problème de minimisation de la probabilité de non détection d'un danger, sous les contraintes d'un niveau maximum pour la probabilité de fausses alarmes et de la disponibilité des postes de contrôle.

$$\text{Min} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N (\tau_m \left( \sum_{u=1}^{\mu} \pi_u \prod_{j \in C_2^i} (1 - p_{uj}) \right) ) x_{im}$$

sous les contraintes

$$\sum_{i=1}^N \left( (1 - \prod_{j \in C_2^i} q_j) \sum_{m=1}^M (1 - \tau_m) x_{im} \right) \leq P_{FA}^{\max}$$

où  $P_{FA}^{\max}$  est le niveau maximum de probabilité de fausse alarme retenu.

On a à considérer aussi les contraintes de disponibilité temporelle des postes de contrôle de  $C_2$  pendant la période  $T$  :

$$\sum_{i=1, j \in C_2^i}^N \sum_{m=1}^M x_{im} \leq y_j^{\max} \quad j \in C_2$$

avec

$$y_j^{\max} = (n_{2j} T / D - (\bar{t}_j + \alpha_j \Delta t_j)) / (\beta_j \Delta t_j) \quad j \in C_2$$

Et finalement on a les contraintes de proportion :

$$\sum_{i=1}^N x_{im} = z_m \quad m = 1 \text{ à } M$$

$$0 \leq x_{mi} \leq 1 \quad i = 1, \dots, N \quad m = 1, \dots, M$$

Si de la solution du problème précédent il est possible d'en déduire une procédure opérationnelle (les passagers sont répartis en proportion  $\{x_i^*, i=1 \text{ à } N\}$  à mesure qu'ils se présentent sans être arrêtés à la sortie des postes  $C_I$ ), il en est de même pour la solution de ce dernier problème si l'on suppose que les probabilités a priori  $\tau_m, m=1 \text{ à } M$  sont bien représentatives de la réalité.

#### V.4.4 Application numérique

On reprend ici les valeurs numériques des tables 5.1, 5.2 et 5.3 et on considère les distributions a priori suivantes (pour  $M=4$ ) :

m	1	2	3	4
$z_m$	0.70	0.15	0.10	0.05
$\tau_m$	0.0001	0.001	0.001	0.002

**Tableau 5. 6** Distribution des passagers après pré-filtrage

Prenant  $P_{FA}^{\max} = 0.00300$ , on obtient la solution suivante :

$$x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 0.30634, x_4 = 0.02845, x_5 = 0, x_6 = 0.66531, x_7 = 0 \quad \text{qui}$$

correspond à une probabilité de non détection d'une menace de 0.00439 pour une probabilité de fausse alarme de 0.00300

Faisant varier la demande totale, on obtient le tableau suivant :

D	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$P_{ND}$	$P_{FA}$
1400	0.0	0.0	0.32655	0.0	0.0	0.67345	0.0	0.00428	0.00300
1600	0.0	0.0	0.30634	0.02845	0.0	0.66531	0.0	0.00439	0.00300
2000	0.0	0.01167	0.28784	0.03332	0.01983	0.64578	0.02139	0.00458	0.00300
2400	0.12388	0.03452	0.27023	0.04536	0.05452	0.55538	0.09351	0.00527	0.00287
3200	0.42331	0.09612	0.23945	0.04975	0.07843	0.42580	0.11045	0.09829	0.00254

**Table 5.7** Solutions avec pré-filtrage pour différents niveaux de demande

$P_{FA}^{\max}$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$P_{ND}$
0.00285	0.0	0.01320	0.25231	0.18621	0.14320	0.39067	0.00841	0.00472
0.00290	0.0	0.0	0.24452	0.13429	0.07670	0.54449	0.0	0.00461
0.00295	0.0	0.0	0.28761	0.05462	0.04530	0.61277	0.0	0.00450
0.00300	0.0	0.0	0.30634	0.02845	0.0	0.66531	0.0	0.00439

**Table 5.8** Solutions avec pré-filtrage pour différents niveaux de  $P_{FA}^{\max}$

Ainsi, on constate l'effet bénéfique du pré-filtrage sélectif qui pour un même niveau de fausses alarmes conduit à des niveaux de non détection de menace largement inférieurs.

## V.5 Conclusion

L'approche probabiliste retenue dans ce chapitre présente plusieurs avantages :

- Elle permet de mettre en équation le dilemme (Probabilité de non détection X Probabilité de fausse alarme).
- Elle montre l'intérêt du traitement différencié des passagers qui ont tous franchis une première étape.
- Elle montre l'intérêt d'établir un premier filtrage avant de mettre en œuvre un traitement différencié qui n'en devient que plus efficace.
- Elle permet d'intégrer le dimensionnement statique des équipements de contrôle à mettre en œuvre.
- Le degré de complexité des modèles probabilistes développées reste de niveau moyen et débouche sur des problèmes de programmation linéaire en variables continues de petite taille.

Néanmoins, cette approche présente aussi d'importantes limitations :

- Elle est entièrement statique et ne peut donc fournir d'éléments d'aide à la décision en ligne.
- Elle ne tient pas compte de l'aspect stochastique de la demande et l'introduction de considérations liées aux files d'attente (taille moyenne des files, durée moyenne des

temps d'attente) dans les modèles développés ne pourrait se faire qu'à l'aide de modèle simplistes de nature non linéaire qui conduiraient les problèmes d'optimisation considérés à avoir des domaines admissibles non convexes, ce qui rendrait difficile leur résolution numérique.

- La modélisation retenue ne peut prendre en compte l'organisation spatiale du terminal de passagers et de son système de contrôle.

Dans le chapitre suivant, nous proposons une approche de modélisation différente qui permettra de répondre à ces préoccupations.

## **CHAPITRE VI**

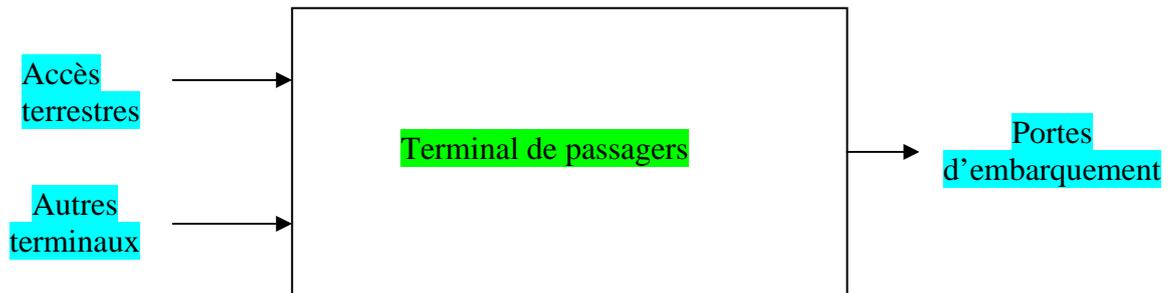
# **MODÉLISATION PAR LES RÉSEAUX DU SYSTÈME DE CONTRÔLE DES PASSAGERS**

## **VI.1 Introduction**

Dans ce chapitre on s'intéresse à la modélisation mathématique des flux de passagers au départ dans une aérogare. Dans ce chapitre on considère le terminal de passagers comme constitué d'un réseau d'unités de traitement des passagers. Ceci doit permettre de lever diverses limitations des modèles probabilistes présentés au chapitre précédent. Ainsi aussi bien le temps que l'espace, sont introduits dans ce nouveau modèle. Certes ceci se fait au prix d'une complexité accrue mais la croissance de celle-ci a été maîtrisée autant que possible. Ainsi ce chapitre présente un modèle dynamique des flux de passagers au départ dans un terminal aéroportuaire. Il permet par ailleurs de représenter de façon détaillée les moyens matériels et humains à mettre en œuvre dans ce contexte spatio-temporel. Compte tenu du cadre radicalement différent de celui des chapitres précédents, un nouveau canevas d'évaluation multicritère, beaucoup plus proche de l'opérationnel, est aussi développé. En effet, ce modèle adoptant une structure en réseau pour décrire les processus de traitement et les transferts de passagers entre les différents sites du terminal, permet notamment de représenter les files d'attente et les temps d'attente infligés aux passagers.

## **VI.2 L'approche de modélisation adoptée**

Dans cette étude seuls les passagers au départ sont considérés bien que dans beaucoup de situations des passagers en partance et des passagers en transit ou des passagers à l'arrivée peuvent se retrouver dans des zones communes d'attente ou de passage de l'aéroport. Suivant la configuration du terminal de passager par rapport à la ville ou aux autres composantes de l'aéroport, différents points d'entrée peuvent être considérés (accès routiers et ferroviaires avec la ville, zones de parking et de location de voitures, interconnexions avec d'autres terminaux de l'aéroport), alors que les points de sortie du terminal sont les portes d'embarquement associées aux vols en partance.



**Figure 6.1** Schéma général du terminal de passagers à l'embarquement

### VI.2.1 Prise en compte de l'espace du terminal aéroportuaire

La circulation des passagers au départ entre les points d'entrée et les portes d'embarquement est ici représentée par un réseau d'unités de traitement s'appuyant sur une structure représentée par un graphe simple  $G = [X, U]$ .

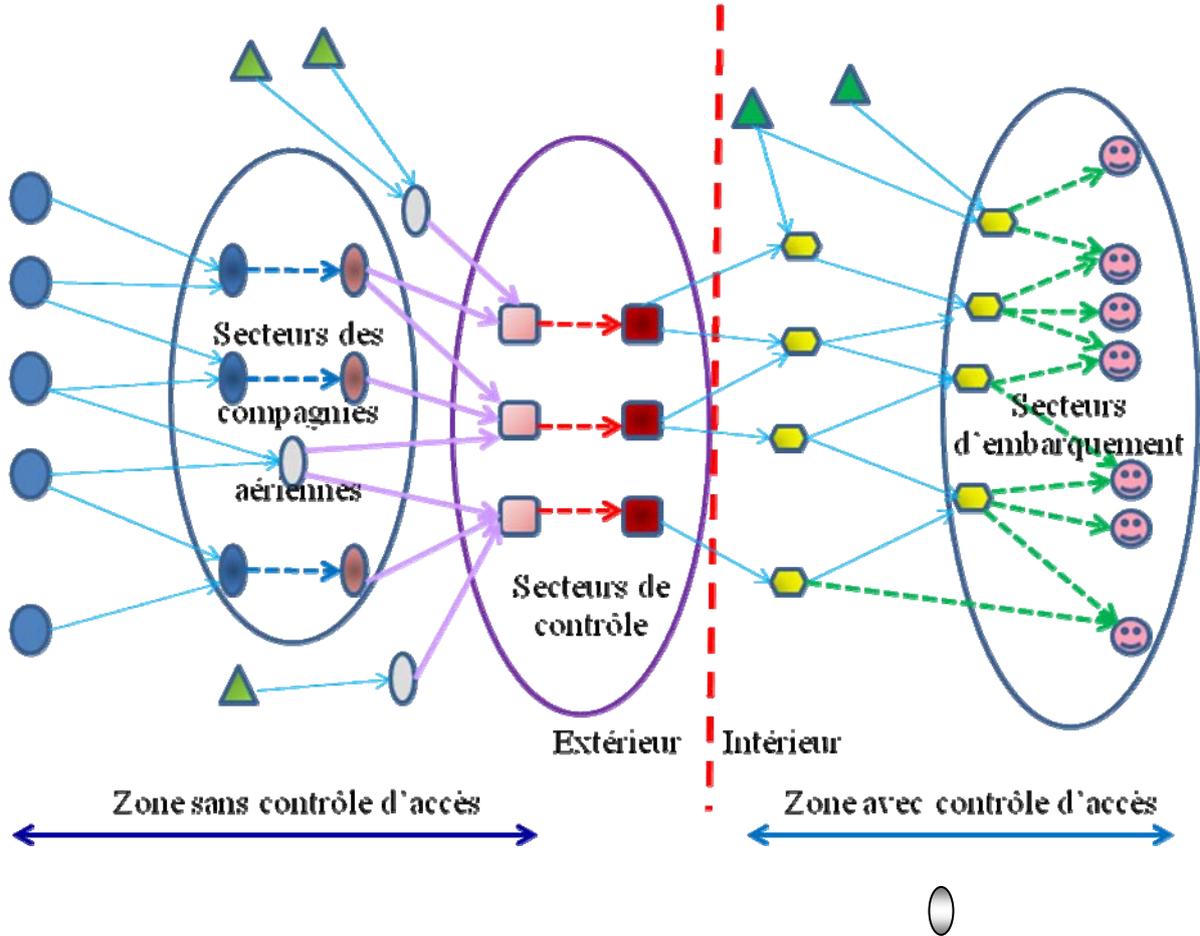
Ce graphe simple  $G$  est composé de cinq classes d'arcs et de sept classes de nœuds:

- arcs d'entrée  $i$  issus de nœuds d'entrée ( $e(i)$  est le nœud d'origine de l'arc  $i$ );
- arcs de circulation  $v$  reliant des postes de check-in à des queues de postes de contrôle ;
- arcs de circulation reliant des postes de check-in à d'autres arcs de circulation (dans les deux cas,  $a(v)$  est le nœud d'origine de l'arc  $v$  et  $c(u)$  est le nœud d'origine de l'arc  $u$ ) ;
- arcs de circulation reliant d'autres arcs de circulation entre eux;
- arcs représentant les files d'attente aux postes de contrôle de sécurité ;
- arcs représentant les files d'attente au check-points ;
- arcs représentant les files d'attente aux portes d'embarquement ( $b(i)$  est la porte d'embarquement associée à l'arc  $i$ ).

Le réseau est construit de telle façon que les prédécesseurs des arcs avec file d'attente (check-in, le contrôle, l'embarquement) soient toujours des arcs de circulation. On a alors :

$$U = U_{ent} \cup U_{cir} \cup U_{cnt} \cup U_{che} \cup U_{brd} \quad (6.1)$$

où  $U_{ent}$  est l'ensemble des arcs d'entrée,  $U_{cir}$  est l'ensemble des arcs de circulation,  $U_{cnt}$  est l'ensemble des arcs incidents sur un contrôle,  $U_{che}$  est l'ensemble des arcs de cheminement à l'intérieur de la zone sous contrôle d'accès et  $U_{brd}$  est l'ensemble des arcs donnant accès à l'embarquement.



**Figure 6.2.** Exemple de réseau de traitement des passagers au départ

Les arcs associés à des files d'attente sont caractérisés par le nombre d'unités de traitement ( nombre de postes de check-in ou de stations de contrôle) et par la capacité exprimée en nombre de passagers par période de temps opérationnelle (10 min). Les arcs de circulation sont caractérisés par une vitesse moyenne du déplacement  $V_i$  de sorte que leur longueur est telle que il existe un entier  $\eta_i$  tel que:  $\lambda_i = \eta_i V_i \Delta t$  où  $\lambda_i$  est la longueur associée à l'arc de

circulation  $i$ ,  $\Delta t = 5$  secondes ici. L'ensemble des arcs successeurs de l'arc  $i$  est donné par  $\Gamma_i$ .

Les sommets  $w$  sont soit des nœuds d'entrée ( $w \in X_{ent}$ ), des nœuds de correspondance ( $w \in X_{cor}$ ), des nœuds de check-in ( $w \in X_{che}$ ), des nœuds de files d'attente ( $w \in X_{que}$ ), des nœuds de contrôle ( $w \in X_{cnt}$ ), des nœuds de circulation ( $w \in X_{cir}$ ) ou des nœuds d'embarquement ( $w \in X_{brd}$ ):

$$X = X_{ent} \cup X_{cor} \cup X_{che} \cup X_{que} \cup X_{cnt} \cup X_{cir} \cup X_{brd} \quad (6.2)$$

### VI.2.2 Prise en compte du temps

Le temps est ici appréhendé de façon discrète à plusieurs niveaux :

- la période journalière qui se répète avec quelques modifications d'une semaine à l'autre pour les vols commerciaux programmés ;
- la période horaire qui permet de retracer les fluctuations du niveau d'activité eu trafic aéroportuaire (volume d'arrivées et de départs, heure par heure) ;
- la période opérationnelle du point de vue de la demande (de passagers pour le contrôle), celle-ci devant permettre de représenter l'évolution de la demande, est prise ici égale à 10 minutes ;
- la période élémentaire qui correspond au délai minimum pour réaliser une opération élémentaire de contrôle. Celle-ci est ici fixée à 5 secondes.

Les flux de passagers présents dans le réseau sont soumis à la dynamique résultant des conditions initiales des flux et des processus, des horaires des vols et de l'efficacité des unités de traitement (check-in, contrôle en matière de sécurité, embarquement).

### VI.3 Hypothèses retenues pour la modélisation

Celles-ci couvrent les arrivées, le traitement et l'embarquement des passagers au niveau du terminal aéroportuaire.

### VI.3.1 Modélisation des arrivées de passagers dans l'aérogare

L'arrivée dans le terminal des passagers en partance est supposée suivre des distributions temporelles discrètes données a priori. Ainsi, le nombre de passagers arrivants par l'entrée  $j$  durant la période de temps  $n$  ( $[t_0 + n \Delta t, t_0 + (n+1) \Delta t]$ ), avec  $\Delta t = 5$  s, et qui prendront le vol  $k$  est donné par une équation telle que:

$$d_{kj}(n) = D_k \sum_{t_0 + n \Delta t}^{t_0 + (n+1) \Delta t} f_{arkj}(t_{d_k}, t_n) \quad n_{a_k} \leq n \leq n_{d_k} \quad j \in E_k, k \in K \quad (6.3)$$

où  $f_{arkj}(t_{D_k}, t) dt$  est la fonction de distribution temporelle des arrivées pour le vol  $k$  à l'entrée  $j$ .  $D_k$  est la demande totale pour le vol  $k$ ,  $K$  est l'ensemble des vols considérés,  $E_k$  est l'ensemble des entrées associées au vol  $k$ ,  $n_{a_k}$  est la période à partir de laquelle commencent à arriver dans le terminal pour prendre le vol  $k$  et  $n_{d_k}$  est la dernière période où se présentent des passagers pour le vol  $k$ . Soit  $N_k = \{n_{a_k}, n_{a_k} + 1, \dots, n_{d_k}\}$  la période d'arrivée des passagers du vol  $k$ .

On adopte les notations suivantes :

- La proportion de passagers du vol  $k$  arrivant à l'entrée  $j$  et devant faire le check-in est notée  $\alpha_{kj}$ , avec  $0 \leq \alpha_{kj} \leq 1$ , qu'ils aient ou non des bagages.
- La porte d'embarquement affectée au vol  $k$  est notée  $s(k)$  et l'ensemble des vols affectés à la porte d'embarquement  $j$  est notée  $Kj$ .
- L'heure prévue de début d'embarquement pour le vol  $k$  est notée  $stb(k)$  et la durée prévue de l'embarquement est notée  $ndb(k)$ .

### VI.3.2 Modélisation du traitement des passagers dans l'aérogare

Les passagers d'un vol donné  $k$  ayant le même point d'entrée suivent un chemin choisi parmi un même ensemble fini de chemins (un faisceau) vers la porte d'embarquement dont les arcs composent l'ensemble  $ch(k)$ . En fait, nous considérons que le chemin à suivre par les passagers d'un même vol sont préétablis, mais un processus réactif pourrait être également mis en place. Les passagers du vol  $k$  ayant à effectuer un check-in doivent se rendre à la position d'enregistrement  $check(k)$ . L'ensemble des vols traités par la position d'enregistrement  $j$  est  $F_{che}(j)$ . ( $k \in F_{che}(j) \Leftrightarrow check(k) = j$ ). Il est considéré que lors de l'enregistrement en position  $j$ , composée d'un maximum de  $n_{ch}(j)$  postes élémentaires, les

passagers sont informés d'un poste de contrôle obligatoire pour procéder à leur embarquement.

Chaque poste de contrôle  $i$  est composée de  $n_{pc}(i)$  postes de contrôle élémentaires et à une période donnée, certains d'entre eux sont actifs tandis que les autres sont fermés. Les différentes positions de contrôle actives sur un poste de contrôle ne sont pas identifiées dans cette étude et il est supposé que les modifications d'affectation du personnel sont simultanées sur chacun d'eux et que l'addition ou la soustraction de postes de contrôle actif sont synchronisées avec ces changements de personnel.

### VI.3.3 Hypothèses concernant l'embarquement

Afin de prendre en compte la succession d'embarquements à une même porte, deux cas sont considérés suivant que la porte d'embarquement  $s(k)$  est destinée à donner ou non accès à des positions éloignées (« remote ») pour les avions :

- dans le cas positif, si deux vols  $k'$  et  $k''$  utilisent la même porte d'embarquement  $s = s(k') = s(k'')$ , (ou  $k' \in K_s$  et  $k'' \in K_s$ ) alors on doit avoir pour éviter toute possibilité de chevauchement:

$$stb(k'') \geq stb(k') + ndb(k') + lib(k', k'') \quad (6.4)$$

où  $lib(k', k'')$  est le temps minimum de roulement des équipements et du personnel d'une compagnie aérienne à la porte d'embarquement.

Soit  $tb(k')$  le moment de début de l'embarquement du vol  $k'$ , si l'ensemble des passagers n'a pas été embarqué à l'instant  $tb(k') + ndb(k')$ , l'embarquement est prolongé de  $\delta db(k')$  unités de temps.

L'heure effective de début d'embarquement pour le vol  $k''$ , lorsque celui-ci est le suivant après le vol  $k'$  à cette porte, est donné par :

$$tb(k'') = \max \{ stb(k') + ndb(k') + \delta db(k') + lib(k', k''), stb(k'') \} \quad (6.5)$$

- dans le cas négatif, il faut subdiviser ce cas en deux sous-cas suivant que les vols successifs utilisent ou non la même position de stationnement :
  - o dans le cas où les positions parking sont différentes l'embarquement se réalise suivant les mêmes règles que dans le cas de positions éloignées :

$$stb(k'') \geq stb(k') + ndb(k') + lib(k', k'') + nub(k'') \quad (6.6)$$

- Si deux avions successifs où  $lib(k', k'')$  est le temps minimum pour que l'avion  $k'$  quitte la position parking associée à la porte d'embarquement  $s$  et pour que l'avion  $k''$  stationne sur la même position et où  $nub(k'')$  est la durée nominale de débarquement de l'avion  $k''$ . Soit  $tb(k')$  le temps effectif de début d'embarquement pour le vol  $k'$ , alors ici aussi quand tout les passagers n'ont pas eu le temps d'embarquer à  $tb(k') + ndb(k')$ , on prolonge l'embarquement de  $\delta db(k')$  et le temps effectif de début d'et pour le vol  $k''$  est maintenant donné par :

$$tb(k'') = \max\{stb(k') + ndb(k') + \delta db(k') + lib(k', k'') + nub(k''), stb(k'')\} \quad (6.7)$$

## VI.4. Modélisation de la dynamique des flux dans le système de contrôle

Dans ce paragraphe, par souci de brièveté, ne sont décrits que les modèles proposés pour la dynamique de l'écoulement dans les arcs de circulation, les arcs des files d'attente, les arcs de contrôle de sécurité et les arcs de circulation intermédiaires, l'extension aux deux autres classes d'arcs étant immédiate.

### VI.4.1 Dynamique des flux dans les arcs de circulation en entrée

Le nombre de passagers présents dans un arc  $i$  de circulation en entrée (ceux dont l'origine est un nœud d'entrée) à la période  $n$  est donné par:

$$\phi_i(n) = \sum_k f_{ik}(n) \quad (6.8)$$

avec

*sinon* :

$$f_{ik}(n) = 0 \quad \text{si } n \notin N_k,$$

$$f_{ik}(n) = \max\{0, (1 - \lambda_i / (V_i \Delta t)) f_{ik}(n-1)\} + \alpha_{kh} d_{kh}(n) \quad \text{si } \delta_{ik} = 1 \quad (6.9)$$

$$f_{ik}(n) = \max\{0, (1 - \lambda_i / (V_i \Delta t)) f_{ik}(n-1)\} + (1 - \alpha_{kh}) d_{kh}(n) \quad \text{si } \varepsilon_{ik} = 1$$

$$\text{et } f_{ik}(n) = \max\{0, (1 - \lambda_i / (V_i \Delta t)) f_{ik}(n-1)\} + d_{kh}(n) \quad \text{si } \gamma_{ik} = 1$$

où  $h = e(i)$  et où :

- $\delta_{ik} = 1$  si l'arc  $i$  conduit les passagers du vol  $k$  du nœud d'entrée  $e(i)$  au nœud de check-in du vol  $k$ ,  $\delta_{ik} = 0$  sinon,
- $\varepsilon_{ik} = 1$  si l'arc  $i$  conduit les passagers du vol  $k$  directement au point de contrôle,  $\varepsilon_{ik} = 0$  sinon,
- $\gamma_{ik} = 1$  si l'arc  $i$  amène les passagers en correspondance du vol  $k$  à une position de contrôle.

Nous avons les contraintes de cohérence suivantes entre les variables binaires  $\delta_{ik}$ ,  $\varepsilon_{ik}$  et  $\gamma_{ik}$  :

$$0 \leq \delta_{ik} + \varepsilon_{ik} + \gamma_{ik} \leq 1 \quad \forall i \in U_{ent}, \forall k \in K \quad (6.10)$$

#### VI.4.2 Dynamique des flux aux postes de contrôle

Le nombre de passagers présents dans la queue représentée par l'arc  $i$  donnant accès à un poste de contrôle à la période  $n$  est donné par l'équation dynamique à temps discret suivante :

$$\phi_i(n) = \sum_k f_{ik}(n) = \max\{0, \phi_i(n-1) - \Phi \Delta t y_h(n-1)\} + \sum_{u \in \Gamma_i^{-1}} \omega_u(n-1) \quad (6.11)$$

où

$$h = c(i) \quad \text{et} \quad \omega_u(n-1) = \phi_u(n-1) \lambda_u / (V_u \Delta t) \quad u \in \Gamma_i^{-1} \quad (6.12)$$

$$\text{Soit:} \quad \delta f_{ik}(n) = \sum_{u \in \Gamma_i^{-1}} \omega_{uk}(n-1) \quad (6.13)$$

On a alors soit:

$$f_{ik}(n) = \delta f_{ik}(n) = 0 \quad \text{if } i \notin ch(k) \quad \text{ou alors} \quad f_{ik}(n) = \delta f_{ik}(n) \quad \text{si } f_i(n-1) \leq \Phi_i \Delta t y_h \quad \text{soit} \quad (6.14)$$

$$f_{ik}(n) = \max\{0, f_{ik}(n-1) - \Delta f_{ik}(n)\} + \delta f_{ik}(n) \quad \text{si } f_i(n-1) > \Phi_i \Delta t y_h$$

Pour calculer  $\Delta f_{ik}(n)$ , soient:

$$nc_{\min}(i, k) = q \quad \text{si } \delta f_{ik}(p) = 0 \quad \forall p < q - 1 \quad \text{et } \delta f_{ik}(q) > 0 \quad p, q \in \mathcal{N} \quad (6.15)$$

$$nc_{MIN}(i, n) = \min_{k|ich(k)} nc_{\min}(i, k) \quad (6.16)$$

et  $m(i, n)$  tel que:

$$m(i, n) \leq n \quad \text{et} \quad \sum_{n'=nc_{MIN}(i, n)}^m \sum_{k|ich(k)} \delta f_{ik}(n') \leq \Phi_i \Delta t y_h(n-1) < \sum_{n'=nc_{MIN}(i, n)}^{m+1} \sum_{k|ich(k)} \delta f_{ik}(n') \quad (6.17)$$

Maintenant

$$\text{si } \sum_{n'=nc_{MIN}(i, n)}^m \sum_{k|ich(k)} \delta f_{ik}(n') \leq \Phi_i \Delta t y_h(n-1) \quad \text{alors } nc_{\min}(i, k) = m \quad (6.18-1)$$

et

$$\Delta f_{ik}(n) = \sum_{n'=nc_{MIN}(i, n)}^{nc_{\min}(i, k)} \delta f_{ik}(n') \quad (6.18-2)$$

$$\text{si } \Phi_i \Delta t y_h < \sum_{n'=nc_{MIN}(i, n)}^{m+1} \sum_{k|ich(k)} \delta f_{ik}(n') \quad \text{alors } nc_{\min}(i, k) = m - 1 \quad (6.19-1)$$

et

$$\Delta f_{ik}(n) = \sum_{n'=nc_{MIN}(i, n)}^{nc_{\min}(i, k)} \delta f_{ik}(n') + \left( \sum_{n'=nc_{MIN}(i, n)}^{m+1} \sum_{k|ich(k)} \delta f_{ik}(n') - \Phi_i \Delta t y_h(n-1) \right) (f_{ik}(n-1) / f_i(n-1)) \quad (6.19-2)$$

## VI.5 Evaluation des performances du système de contrôle

L'estimation des performances du système de contrôle des passagers dans l'aérogare est de nature multicritère et s'appuie sur l'évaluation de :

- la sécurité des passagers dans le terminal de l'aéroport et à l'embarquement dans les avions ;
- le confort des passagers dépendant des temps d'attente et de la longueur des chemins entre les points d'entrée et les portes d'embarquement;
- les coûts d'exploitation pour les compagnies aériennes et pour le système de sécurité de l'aéroport.

### VI.5.1 Confort des passagers

Le temps total d'attente au check-in  $i$  pendant la période de temps  $[n_s, n_e]$ , est donné par:

$$W_{che}(i, n_s, n_e) = \sum_{n=n_s}^{n_e} f_i(n-1) \quad n_s < n_e \quad i \in X_{che} \quad (6.20-1)$$

alors que le temps moyen d'attente par passager est donné par:

$$\bar{W}_{che}(i, n_s, n_e) = \sum_{n=n_s}^{n_e} f_i(n-1) / \sum_{n=n_s-\tau_s}^{n_e-\tau_e} \sum_{u \in \Gamma_i^{-1}} \phi_u(n-1) \quad (6.20-2)$$

où les entiers  $\tau_s$  et  $\tau_e$  sont des paramètres ajustables.

Le temps total d'attente des passagers du vol  $k$  au point de contrôle  $i$ ,  $i \in ch(k)$ , est donné par :

$$w_{cnt}(i, k, n_s, n_e) = \sum_{n=n_s}^{n_e} f_{ik}(n-1) \quad (6.21-1)$$

alors que le temps moyen d'attente de ces passagers est donné par:

$$\bar{w}_{cnt}(i, k, n_s, n_e) = \sum_{n=n_s}^{n_e} f_{ik}(n-1) / \sum_{n=n_s-\tau_s}^{n_e-\tau_e} \sum_{u \in \Gamma_i^{-1}} \phi_{uk}(n-1) \quad (6.21-2)$$

### VI.5.2 Sécurité des passagers

En ce qui concerne la sécurité des voyageurs différents indices peuvent être envisagés: ceux qui sont liés à l'efficacité du contrôle dans les postes de contrôle, ceux liés aux « cibles molles » dans l'aéroport et ceux liés aux vols spéciaux de haute sécurité.

#### VI.5.2.1 Efficacité aux postes de contrôle

L'efficacité du contrôle de la sécurité s'appuie principalement sur la performance humaine, de sorte que certaines hypothèses supplémentaires doivent être effectuées sur le personnel de sécurité à un poste de contrôle. Il est supposé que l'équipe qui a été affectée à un poste de contrôle  $j$  dans une station de contrôle  $c(i)$  au  $p$ -ième changement au début de la période  $n_s(p, i)$  est changé à la fin de la période  $n_e(p, i)$  ( $n_e(p, i) + 1 = n_s(p + 1, i)$  si  $p < p_{\max}(i)$ ), où le nombre maximal de changements au cours d'une journée au poste  $i$  est  $p_{\max}(i)$  tel que :

$$n_e(p, i) = n_s(p, i) + \min \left\{ n_{\max}^w(i), n \text{ tel que } \varepsilon(n, i) \leq d_{\max}^{pax} \text{ et } \varepsilon(n+1, i) > d_{\max}^{pax} \right\} \quad (6.22.1)$$

où

$$\varepsilon(n, i) = \sum_{l=n_s(p, i)}^n \min\{\Phi_i \Delta t, f_i(n-1)/y_i(n-1)\} \quad (6.22.2)$$

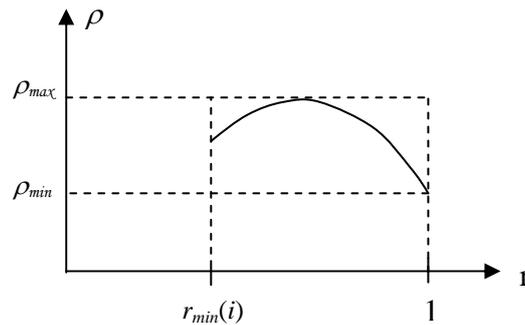
Ici  $n_{\max}^w(i)$  est la durée maximale d'une période de travail (un quart) au poste de contrôle  $c(i)$  et  $d_{\max}^{pax}$  est le nombre maximum de passagers à être contrôlés pendant un unique quart. On considère qu'un quart a une durée minimale  $n_{\min}^w(i)$ .

Soit  $n_{ss}(i, m)$  l'instant du  $p^{ième}$  changement simultané d'équipes au poste de contrôle  $i$ , alors le nombre de stations actives au poste de contrôle  $i$  pendant le  $p$ -ième changement sera  $y_{shift}(i, p)$ .

L'efficacité de contrôle du  $p^{ième}$  quart est considéré être une fonction croissante  $\rho$  du rapport  $r_{cnt}(p, i)$  donné par:

$$r_{cnt}(p, i) = (n_e(p, i) - n_s(p, i)) / n_{\max}^w(i) \quad (6.23)$$

qui varie entre  $r_{\min}(i) = d_{\max}^{pax} / (n_{\max}^w(i) \Phi_i \Delta t)$  et 1 en décrivant l'évolution de l'intensité du travail de contrôle pendant la  $p^{ième}$  période au poste de contrôle  $c(i)$ . La figure 6.3 donne un exemple d'évolution de l'efficacité du contrôle en fonction du paramètre opérationnel  $r_{cnt}$ .



**Figure 6.3.** Efficacité du contrôle en fonction de l'intensité de travail

On y constate qu'il existe une valeur optimale de l'intensité de travail sur une période donnée, en deçà l'efficacité de contrôle augmente légèrement, au-delà, l'efficacité diminue jusqu'à sa valeur minimum.

Un critère global pour évaluer l'efficacité de contrôle durant une journée est donné par:

$$C_{cnt}(y) = \sum_{i \in X_{cnt}} \sum_{p=1}^{p_{max}(i)} y_i(i, p) (\rho(r_{cnt}(m, i)) - \rho_{max})^2 \quad (6.24)$$

D'autres critères possibles sont:

$$\rho_{min}^* = \min_{i \in X_{cnt}} \min_{m=1 \text{ to } m_{max}(i)} \rho(r_{min}(m, i)) \quad (6.25)$$

et

$$|F_\varepsilon| \quad \text{où} \quad F_\varepsilon = \bigcup_{i \in X_{cnt}} F_\varepsilon(i) \quad (6.26)$$

avec

$$F_\varepsilon(i) = \{quarts \ m \text{ tels que : } \rho(r_{min}(i, p)) \leq \rho_{max}(1 - \varepsilon)\} \quad \text{où} \quad 0 < \varepsilon < 1 \quad (6.27)$$

Au niveau de chaque position de contrôle  $i$ , on a les critères de sécurité suivants:

$$C_{cnt}(i) = \sum_{p=1}^{p_{max}(i)} y_{shift}(i, p) (\rho(r_{min}(p, i)) - \rho_{max})^2 \quad (6.28)$$

$$\rho_{min}^*(i) = \min_{p=1 \text{ to } p_{max}(i)} \rho(r_{min}(m, i)) \quad (6.29)$$

et

$$|F_\varepsilon(i)| \quad i \in X_{cnt} \quad 0 < \varepsilon < 1 \quad (6.30)$$

### VI.5.2.2 Efficacité par rapport aux cibles molles

Les endroits bondés comme les files d'attente à l'enregistrement, le contrôle de sécurité et d'embarquement qui présentent une forte densité de personnes sont des cibles potentielles. C'est spécialement le cas des positions de check-in alors que les bagages des passagers n'ont pas été en général contrôlés au préalable et que l'on se trouve dans une zone à l'accès libre. Il semble donc important d'y diminuer la taille des files d'attente.

Pour diminuer la taille des files d'attente d'enregistrement, différentes actions peuvent être adoptées:

- augmentation du nombre de positions de check-in,
- reprogrammation des vols trop concentrés dans le temps,
- redistribution du check-in sur les différentes zones du terminal,
- développement de la billetterie électronique et de l'enregistrement à distance.

En ce qui concerne la sécurité des cibles molles, celle-ci est caractérisée par la taille des files d'attente dans le terminal de passagers. Des critères possibles sont constitués par les valeurs extrêmes:

$$Q_{\max}(i, n_s, n_e) = \max_{n \in \{n_s, \dots, n_e\}} f_i(n) \quad i \in X_{che} \quad (6.31)$$

et

$$Q_{\max}(n_s, n_e) = \max_{i \in X_{che}} Q_{\max}(i, n_s, n_e) \quad (6.32)$$

d'autres sont constitués par des valeurs moyennes:

$$\bar{Q}(i, n_s, n_e) = \left( \sum_{n=n_s}^{n_e} f_i(n) \right) / (n_e - n_s + 1) \quad i \in X_{che} \quad (6.33)$$

et

$$\bar{Q}_I(n_s, n_e) = \left( \sum_{i \in I} \bar{Q}(i, n_s, n_e) \right) / |I| \quad \text{où } I \subseteq X_{che} \quad (6.34)$$

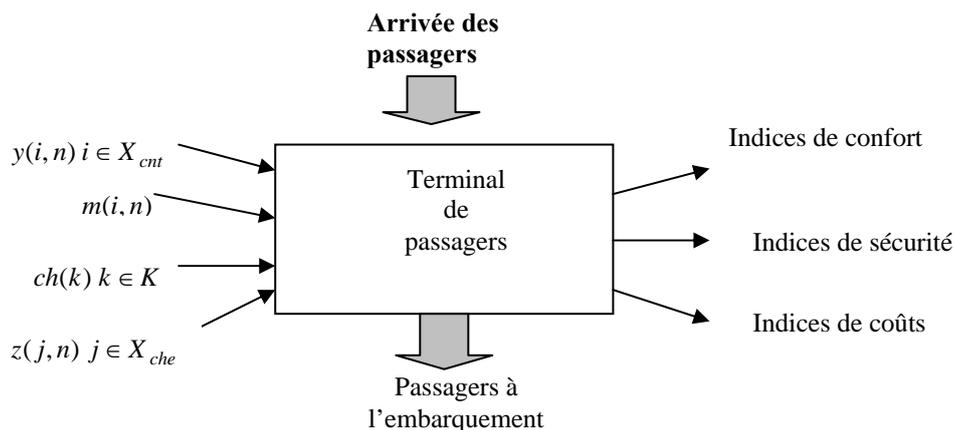
On peut aussi construire des critères relatifs à partir des précédents, par exemple:  $Q_p(i, n_s, n_e)$  est la proportion du temps pendant la période  $[n_s, n_e]$  pour laquelle la queue au poste de check-in  $i$  est composée de plus de  $p$  passagers avec  $p < Q_{\max}(i, n_s, n_e)$ .

### VI.5.2.3 efficacité du contrôle des vols spéciaux de haute sécurité

Certains de ces vols, pour différentes raisons particulières peuvent exiger un traitement particulier :

- faire usage de comptoirs d'enregistrement séparés,
- faire usage de chemins exclusifs,
- procéder à l'embarquement sur des zones à distance.

Dans ce cas, ce qui peut être plus pertinent au moment du check-in est de réduire au minimum sa durée alors que le contrôle doit être effectué de façon plus approfondie.



**Figure 6.4.** Structure générale du système

## VI.6 Illustration

Dans ce paragraphe, on considère un terminal où opèrent quatre compagnies aériennes utilisant chacune un seul type d'appareil sur une période de 4 heures dans la matinée. Cinq destinations sont donc desservies avec 3 types d'appareils.

La table 6.1 donne la programmation des vols et le nombre de passagers pour chacun d'eux ainsi que les portes d'embarquement.

La répartition des différents flux est représentée sur la figure 6.5.

**Tableau 6.1** Exemple de programmation de vols

VOL	DESTINATION	HEURE	PORTE EMBARQUEMENT	TYPE AVION	PASSAGERS
RT569	CITYFOUR	06 :30	A1	AA1	155
XY334	CITYONE	06 :55	A3	BB1	165
ZW675	CITYTWO	07 :00	A2	BB1	160
DF654	CITYTHREE	07 :00	B1	AA2	185
XY567	CITYONE	07 :15	A1	BB1	163
XY786	CITYFOUR	07 :25	A4	BB1	160
DF897	CITYFIVE	07 :35	B2	AA2	180
RT876	CITYTWO	07 :55	A3	AA1	150
ZW432	CITYTWO	08 :00	A2	BB1	165
ZW765	CITYONE	08 :00	A5	BB1	160
DF401	CITYTHREE	08 :10	B1	AA2	180
DF324	CITYTWO	08 :20	B2	AA2	185
XY899	CITYONE	08 :35	A1	BB1	155
ZW786	CITYTWO	08 :45	A2	BB1	148
XY710	CITYFOUR	09 :00	A3	BB1	150
DF659	CITYTHREE	09 :10	B1	AA2	175
RT703	CITYTWO	09 :20	A4	AA1	140
RT698	CITYFOUR	09 :45	A1	AA1	145
XY555	CITYFOUR	10 :00	A2	BB1	155
ZW777	CITYONE	10 :30	A1	BB1	150

Le nombre total de passagers pour une période de quatre heures est de 2571 pour une moyenne horaire de 642 passagers/heure avec des pics au-delà de 2000 passagers/heure.

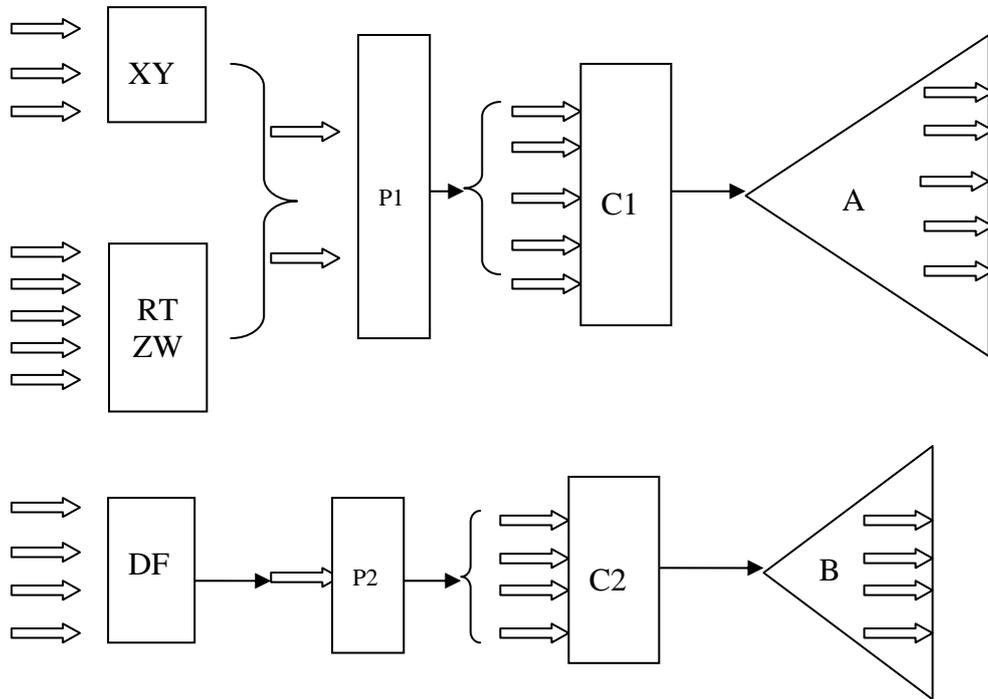


Figure 6.5 Organisation des flux dans le terminal

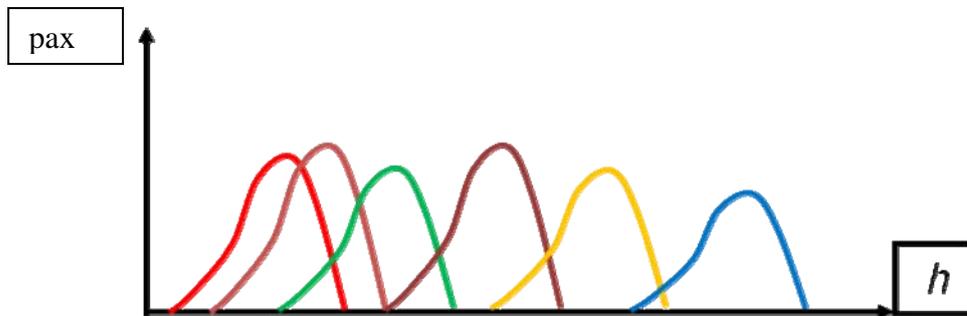
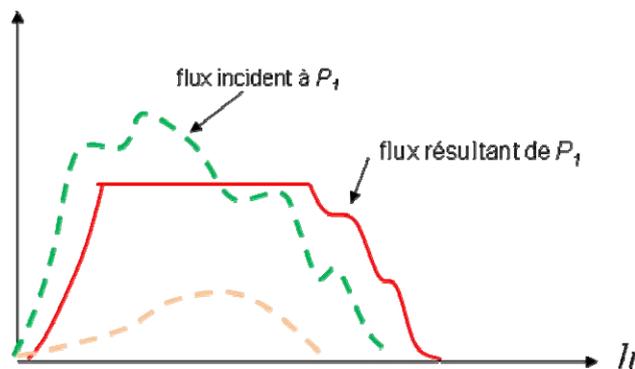
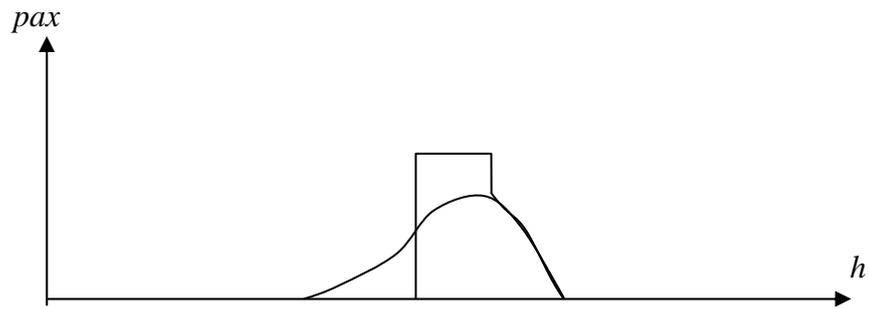


Figure 6.6 Arrivée des flux de passagers aux postes de check-in de XY

Figure 6.7 Flux incident et résultant au poste  $P_1$





**Figure 6.8** Flux à la porte d'embarquement A4 pour le vol XY786

## VI.7 Conclusion

Ce chapitre a mis en place une méthodologie générale de modélisation de niveau intermédiaire (mésoscopique) pour les flux de passagers dans un terminal de l'aéroport.

L'approche par les réseaux qui a été adoptée ici met en évidence les interdépendances dynamiques entre les différents flux et les systèmes de files d'attente tandis que le degré de détail adopté permet la définition et la quantification d'indices de performance détaillées.

Le type de modèle obtenu semble être compatible avec la formulation d'un problème d'optimisation à court terme pour l'affectation des personnels des compagnies aériennes et du personnel de sûreté du terminal de passagers. Divers problèmes d'optimisation globale peuvent alors être formulés pour essayer de répondre efficacement aux objectifs de sûreté et de confort des usagers de l'aéroport en général et des passagers en particulier.

## **CHAPITRE VII**

### **OPTIMISATION DE LA GESTION**

### **DES RESSOURCES DE LA SÛRETE AÉROPORTUAIRE**

## VII.1 Introduction

Dans ce chapitre on s'intéresse à l'optimisation des affectations des ressources matérielles et humaines destinées au contrôle du trafic de passagers. Cette question est importante dans le contexte de la sûreté des aéroports car de l'affectation de ces ressources dépendra non seulement la qualité du service de contrôle mais aussi le niveau de coûts en résultant. Ainsi, si la question de la qualité du service de sûreté est essentielle, la recherche de solutions qui maintiennent le coût de la sûreté à des niveaux acceptables est aussi importante pour garantir la permanence de niveaux de sûreté élevés.

Le modèle spatio-temporel développé au chapitre précédent permet de quantifier de façon dynamique ces deux objectifs, et malgré sa grande complexité, il est ici mis à profit pour essayer de définir des politiques optimales de gestion sur le court terme des ressources consacrées à la sûreté dans le terminal de passagers.

## VII.2 Formulation du problème d'optimisation

On introduit ici la formulation standard (critère-contraintes-domaine de valeur des variables de décision) d'un problème d'optimisation monocritère où il s'agit d'optimiser une mesure de la performance globale du système de contrôle sous l'ensemble des contraintes de capacité, de niveaux de service et des contraintes de conservation des flux de passagers. Ainsi, la mesure retenue ici est la somme pondérée des écarts quadratiques par rapport au maximum d'efficacité de chaque poste de contrôle, que celui-ci soit sous le contrôle des compagnies aériennes ou des aéroports (ou des prestataires de services qu'ils ont engagé).

$$\begin{aligned} & \min \\ & ch(k), k \in K, z_j(n), j \in X_{che}, y_{shift}(i, p), n_s(p, i), n_e(p, i), 1 \leq p \leq p_{\max}(i), i \in X_{cnt} \\ & \sum_{i \in X_{cnt}} \sum_{p=1}^{p_{\max}(i)} y_{shift}(i, p) (\rho(r_{cnt}(p, i)) - \rho_{\max})^2 \end{aligned} \quad (7.1)$$

avec les contraintes de capacité

$$\begin{aligned} \sum_{n=N_s(t)}^{N_e(t)} \phi_j(n-1) & \leq T_{\max}^{che}(j) \sum_{n=N_s(t)-\tau_s}^{N_e(t)-\tau_e} (\Phi_{check} \Delta t z_j(n-1)) \\ t & \in T_{eva}, j \in X_{che} \end{aligned} \quad (7.2)$$

$$\sum_{n=N_s(t)}^{N_e(t)} \phi_i(n-1) \leq T_{\max}^{cnt}(i) \sum_{n=N_s(t)-\tau_s}^{N_e(t)-\tau_e} (\Phi_{cnt} \Delta t y_{shift}(i,p) \delta_{i,p}^n) \quad (7.3)$$

$$t \in \mathbb{T}_{eva}, i \in X_{cnt}$$

$$\sum_{n=N_s(t)}^{N_e(t)} \phi_k(n-1) \leq T_{\max}^{brd}(k) \sum_{n=N_s(t)-\tau_s}^{N_e(t)-\tau_e} \Phi_{board} \Delta t x_k(n-1) \quad (7.4)$$

$$t \in \mathbb{T}_{eva}, k \in X_{brd}$$

$$\sum_{j \in X_{che}} z_j(n) \varepsilon_{ja}^n + \sum_{k \in X_{brd}} x_k(n) \theta_{ka}^n \leq z_a^{\max} \quad (7.5)$$

$$a \in A, n \in \{0, 1, \dots, n_{\max}\}$$

$$z_j(n) \in \{0, 1, \dots, n_{ch}(j)\} \quad n \in \{0, 1, \dots, n_{\max}\}, j \in X_{che} \quad (7.6)$$

$$x_k(n) \in \{0, 1, \dots, n_{brd}(k)\} \quad n \in \{0, 1, \dots, n_{\max}\}, k \in X_{brd} \quad (7.7)$$

$$n_e(p,i) \geq n_s(p-1,i) \quad p \in \{1, \dots, p_{\max}(i)\}, i \in X_{cnt} \quad (7.8)$$

$$n_{\min}^w(i) \leq n_e(p,i) - n_s(p,i) \leq n_{\max}^w(i) \quad p \in \{0, 1, \dots, p_{\max}(i)\}, i \in X_{cnt} \quad (7.9)$$

$$\sum_{i \in X_{cnt}} \sum_{p=1}^{p_{\max}(i)} (n_e(p,i) - n_s(p,i)) y_{shift}(i,p) \leq W_{\max} \quad (7.10)$$

$$\sum_{i \in X_{cnt}} \sum_{p=1}^{p_{\max}(i)} y_{shift}(i,p) \delta_{i,p}^n \leq y_{\max} \quad n \in \{0, 1, \dots, n_{\max}\} \quad (7.11)$$

$$n_e(p,i), n_s(p,i) \in \{0, \dots, n_{\max}(i)\} \quad p \in \{0, 1, \dots, p_{\max}(i)\} \quad (7.12)$$

$$y_{shift}(i,p) \in \{0, 1, \dots, n_{pc}(i)\} \quad p \in \{0, 1, \dots, p_{\max}(i)\}, i \in X_{cnt} \quad (7.13)$$

avec toutes les contraintes de flux dynamiques dans le réseau présentées au chapitre précédent (contraintes 6.8 à 6.19).

Rappelons ici que :

$z_j(n)$  est le nombre de stations actives au poste de check-in  $j$  pendant la période  $n$  ;

$y_{shift}(i, p)$  est le nombre de stations actives au poste de contrôle  $i$  pendant le  $p$ -ième changement d'équipe;

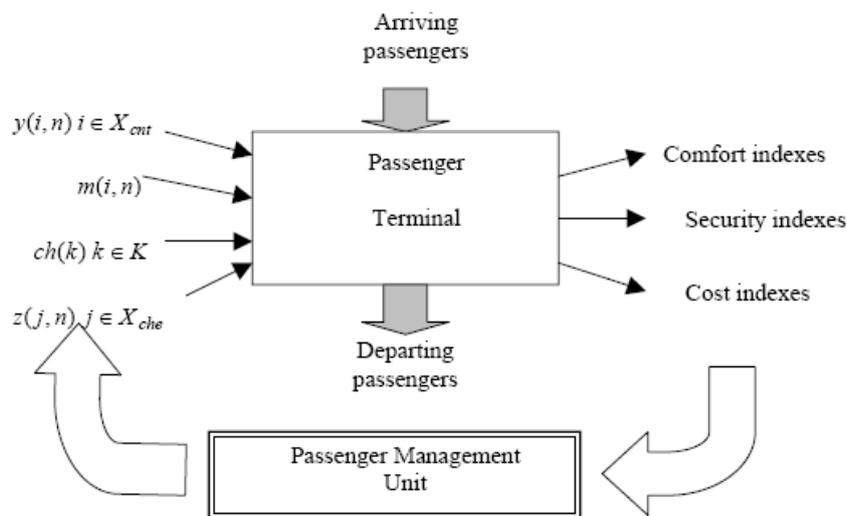
$ch(k)$  est l'ensemble des chemins que peut suivre un passager pour atteindre la porte d'embarquement du vol  $k$ ;

$check(k)$  est la position d'enregistrement utilisée par les passagers du vol  $k$  pour effectuer leur check-in ;

$F_{che}(j)$  est l'ensemble des vols traités par la position d'enregistrement  $j$ .

$n_{ch}(j)$  est le nombre total de postes élémentaires (ouverts ou fermés à un instant donné) d'enregistrement en position  $j$  ;

$n_{pc}(i)$  est le nombre total de postes de contrôle élémentaire en position  $i$  de contrôle ;



**Figure 7.1** Structure générale du système de contrôle

Ici,  $T_{\max}^{che}(i)$ ,  $T_{\max}^{cnt}(i)$  et  $T_{\max}^{brd}(i)$  sont les niveaux moyen maximaux admis pour les attentes aux postes de check-in, de contrôle de sécurité et d'embarquement et ceci aux périodes de temps  $[N_s(t), N_e(t)]$ ,  $t \in T_{eva}$  où  $T_{eva}$  est l'ensemble des périodes de temps utilisées dans l'évaluation. Cet ensemble peut aussi bien comprendre des périodes critiques que des périodes plus longues incluant une baisse du niveau de sollicitation du système par les passagers.

On a aussi ici :

$\delta_{i,p}^n = 1$  si  $p$  est tel que  $n_s(p,i) \leq n \leq n_e(i,p)$ , sinon  $\delta_{i,p}^n = 0$ .

Si le check-in  $j$  est utilise par la compagnie aérienne  $a$  pendant la période  $n$  alors  $\varepsilon_{j,a}^n = 1$ ,  $\varepsilon_{j,a}^n = 0$  sinon.

$\theta_{k,a}^n = 1$  si la porte d'embarquement  $k$  est utilise par la compagnie aérienne  $a$  pendant la période  $n$ ,  $\theta_{k,a}^n = 0$  sinon.

### VII.3 La démarche retenue

Le problème d'optimisation considéré ci-dessus est très complexe car il s'agit d'un problème à grande échelle du réseau limitées avec des variables hybrides (les paramètres opérationnels sont considérés comme des nombres entiers alors que les flux sont pris comme des nombres réels). Aucune méthode de résolution exacte avec un temps de calcul acceptable ne semble disponible. En effet même si en théorie des techniques telles que la programmation dynamique, sont compatibles avec sa structure en réseau entre ses sources et ses puits de flux de passagers, sa dimension est totalement dissuasive.

Une approche d'optimisation globale basée sur une analyse de sensibilité devrait également conduire à des calculs de simulation très lourds pour évaluer les niveaux des différents objectifs (efficacité du contrôle et traitement des retards) alors qu'une approche locale d'optimisation pourrait conduire à des solutions très sous-optimales. Ici, nous considérons que les flux de passagers et le trafic aérien dans les aéroports restent assez semblables d'une semaine à l'autre, de sorte que la solution adoptée une semaine plus tôt peut constituer un point de départ acceptable pour un processus de solution de recherche d'une solution.

Si une semaine plus tôt aucun problème grave n'est apparu aux postes de check-in, aux points de contrôle et au niveau des embarquements, on peut supposer que les itinéraires passagers affectés à chaque vol sont maintenus de façon que les variables  $ch(k)$ ,  $k \in K$  soient fixées. Sinon, une nouvelle solution devrait être établie pour  $ch(k)$ ,  $k \in K$ .

Étant donné alors une solution initiale composée de :

$$\tilde{z}_j(n) \in \{0, 1, \dots, n_{ch}(j)\} \quad n \in \{0, 1, \dots, n_{\max}\}, j \in X_{che} \quad (7.14)$$

$$\tilde{y}_{shift}(i,p) \in \{0, 1, \dots, n_{pc}(i)\} \quad p \in \{0, 1, \dots, p_{\max}(i)\}, i \in X_{cnt} \quad (7.15)$$

$$\tilde{n}_e(p,i), \tilde{n}_s(p,i) \quad p \in \{0, 1, \dots, p_{\max}(i)\}, i \in X_{cnt} \quad (7.16)$$

Chacun des agents d'exploitation (chaque compagnie aérienne, si chacune a ses propres postes check-in et l'autorité de l'aéroport est en charge de la gestion des postes de contrôle) doit résoudre un problème d'affectation locale.

## VII.4 Optimisation locale par les compagnies aériennes

Pour ce qui est des compagnies aériennes, nous pouvons considérer les problèmes d'optimisation suivants (*PQAa*) qui concernent en fait la gestion de leurs passagers avec les ressources disponibles pour la compagnie (ressources matérielles et humaines) aux points de check-in et d'embarquement. On suppose qu'une solution préexiste pour des périodes antérieures, qu'elle soit obtenue de façon empirique ou non, et qu'il s'agit de maintenir le niveau de service aux passagers:

$$\begin{aligned} \min_{z_j(n), \varepsilon_{j,a}^n=1, x_k(n), \theta_{ka}^n=1} \sum_n & \left( \sum_{j \in X_{che}} (a_{ja}(n)/z_j(n) - \tilde{a}_{ja}(n)/\tilde{z}_j(n)) \right)^2 \varepsilon_{j,a}^n \\ & + \\ & \sum_{k \in X_{brd}} (b_{ka}(n)/x_k(n) - \tilde{b}_{ka}(n)/\tilde{x}_k(n))^2 \theta_{k,a}^n \end{aligned} \quad (7.17)$$

avec

$$\sum_{j \in X_{che}} z_j(n) \varepsilon_{j,a}^n + \sum_{k \in X_{brd}} x_k(n) \theta_{ka}^n \leq z_a^{\max} \quad n \in \{0, 1, \dots, n_{\max}\} \quad (7.18)$$

$$z_j(n) \in \{0, 1, \dots, n_{ch}(j)\} \quad n \in \{0, 1, \dots, n_{\max}\}, j \in X_{che} \quad (7.19)$$

$$x_k(n) \in \{0, 1, \dots, n_{brd}(k)\} \quad n \in \{0, 1, \dots, n_{\max}\}, k \in X_{brd} \quad (7.20)$$

avec

$$\tilde{a}_{ja}(n) = \max \left\{ a_{\min}, \tilde{a}_{ja}^0 + \lambda_{aj}(n) \left( \sum_{i \in X_{cnt}, i \in \Gamma_j^n} (\tilde{\phi}_i(n) - T_{\max}^{cnt}(i) \Phi_{cnt} \Delta t \tilde{y}_{shift}(i, p) \tilde{\delta}_{i,p}^n) \right) \right\} \quad (7.21)$$

où  $a_{ja}(n)$ ,  $\tilde{a}_{ja}(n)$ ,  $b_{ka}$  et  $\tilde{b}_{ka}$  sont des paramètres établis empiriquement.  $a_{ja}(n)$  représente le nombre prévu de passagers arrivant à la position de check-in  $j$  opérée par la compagnie aérienne  $a$  pendant la période  $i$ , tandis que  $\tilde{a}_{ja}(n)$  représente la capacité de traitement de

passagers au check-in, ce nombre est estimé à partir du nombre observé de passagers arrivant à la position de check-in  $j$  pendant la même période une semaine plus tôt et corrigé par la prise en compte des performances passées en matière de files d'attente suivantes:

$$\tilde{a}_{ja}(n) = \max \left\{ a_{\min}, \tilde{a}_{ja}^0 + \lambda_{aj}(n) \left( \sum_{i \in X_{cnt}, i \in \Gamma_j^n} (\tilde{\phi}_i(n) - T_{\max}^{cnt}(i) \Phi_{cnt} \Delta t \tilde{y}_{shift}(i, p) \tilde{\delta}_{i,p}^n) \right) \right\} \quad (7.22)$$

et de la même manière pour les portes d'embarquement:

$$\tilde{b}_{ka}(n) = \max \left\{ b_{\min}, \tilde{b}_{ka}^0 + \mu_{ak}(n) \left( \sum_{k \in X_{brd}} (\tilde{\phi}_k(n) - T_{\max}^{brd}(k) \Phi_{brd} \Delta t x_k \tilde{\theta}_{k,a}^n) \right) \right\} \quad (7.23)$$

où  $\lambda_{aj}(n)$  et  $\mu_{ak}(n)$ ,  $n \in \{0, 1, \dots, n_{\max}\}$ , sont des paramètres positifs similaires aux variables de *Lagrange* et où  $a_{\min}$  et  $b_{\min}$  sont des valeurs minimales positives pour  $\tilde{a}_{ja}(n)$  et  $\tilde{b}_{ka}$ .

$z_a^{\max}$  est le nombre maximum de positions de check-in et d'embarquement que la compagnie aérienne  $a$  peut ouvrir simultanément et la contrainte (7.18) est une contrainte de capacité instantanée pour chaque compagnie aérienne.

D'autres critères d'optimisation auraient pu être adoptés en ce qui concerne les compagnies aériennes. Le principal mérite du choix fait ici est de découpler le problème traité par les compagnies aériennes du problème global et de laisser de côté les problèmes liés à l'estimation des files d'attente.

Par ailleurs, si les conditions suivantes sont satisfaites :

$$\sum_{j \in X_{che}} \left| (\tilde{a}_{ja}(n) / a_{ja}(n)) \tilde{z}_j(n) \right| \varepsilon_{ja}^n + \sum_{k \in X_{brd}} \left[ (\tilde{b}_{ka}(n) / b_{ka}(n)) \tilde{x}_k(n) \right] \theta_{ka}^n \leq z_a^{\max} \quad (7.24)$$

$$n \in \{0, 1, \dots, n_{\max}\}$$

alors une solution immédiate au problème de positionnement des équipes des effectifs des compagnies aériennes aux check-in et à l'embarquement est donnée par :

$$z_j(n) = \left| (\tilde{a}_{ja}(n) / a_{ja}(n)) \tilde{z}_j(n) \right| \quad \text{avec} \quad \varepsilon_{j,a}^n = 1 \quad (7.25)$$

$$x_k(n) = \left[ (\tilde{b}_{ka}(n) / b_{ka}(n)) \tilde{x}_k(n) \right] \quad \text{avec} \quad \theta_{k,a}^n = 1 \quad (7.26)$$

Sinon la solution peut être obtenue plus laborieusement en utilisant des techniques d'optimisation telles que le *branch and bound*.

## VII.5 affectation locale des ressources de contrôle

Le problème traité par l'autorité aéroportuaire concerne non seulement les instants de changement d'équipes (les variables  $n_e(p,i), n_s(p,i)$ ), mais aussi leur intensité (les variables  $y_{shift}(i,p)$ ). Un pas vers une solution améliorée est d'abord de considérer que le schéma temporel est maintenu fixe et qu'il s'agit d'améliorer l'intensité en fonction des besoins attendus. Dans ce cas, nous devons résoudre le problème de substitution (PQC):

$$\min_{y_{shift}(i,p)} \sum_{i \in X_{cnt}} \sum_{p=1}^{p_{max}(i)} (c_{ip} y_{shift}(i,p) - \tilde{c}_{ip} \tilde{y}_{shift}(i,p))^2 \quad (7.27)$$

avec

$$\sum_{i \in X_{cnt}} \sum_{p=1}^{p_{max}(i)} (\tilde{n}_e(p,i) - \tilde{n}_s(p,i)) y_{shift}(i,p) \leq W_{max} \quad (7.28)$$

$$\sum_{i \in X_{cnt}} \sum_{p=1}^{p_{max}(i)} y_{shift}(i,p) \tilde{\delta}_{i,p}^n \leq y_{max} \quad n \in \{0, 1, \dots, n_{max}\} \quad (7.29)$$

$$y_{shift}(i,p) \in \{0, 1, \dots, n_{pc}(i)\} \quad p \in \{0, 1, \dots, p_{max}(i)\}, i \in X_{cnt} \quad (7.30)$$

et où les paramètres  $c_{ip}(n)$  et  $\tilde{c}_{ip}(n)$  sont ici aussi des pondérations établies empiriquement. Les paramètres  $W_{max}$  et  $y_{max}$  sont des niveaux globaux et instantanés d'offre de service.

À partir de la solution  $\tilde{y}_{shift}$ , ici aussi, une approche de résolution par *branch and bound* peut être mise en œuvre efficacement. Soit  $\hat{y}_{shift}$  la solution actuelle.

Puis dans une étape ultérieure, le problème suivant (PLC) peut être envisagé :

$$\min_{n_s(p,i), n_e(p,i), 1 \leq p \leq p_{max}(i), i \in X_{cnt}} \sum_{i \in X_{cnt}} \sum_{p=1}^{p_{max}(i)} (\hat{y}_{shift}(i,p) (\rho(\tilde{r}_{cnt}(p,i)) - \rho_{max}) (\partial \rho / \partial r|_{\tilde{r}}) (n_e(p,i) - n_s(p,i))) \quad (7.31)$$

avec les contraintes

$$n_e(p,i) \geq n_s(p-1,i) \quad p \in \{1, \dots, p_{max}(i)\}, i \in X_{cnt} \quad (7.32)$$

$$n_{min}^w(i) \leq n_e(p,i) - n_s(p,i) \leq n_{max}^w(i) \quad p \in \{0, 1, \dots, p_{max}(i)\}, i \in X_{cnt} \quad (7.33)$$

$$\sum_{i \in X_{cnt}} \sum_{p=1}^{p_{\max}(i)} (n_e(p,i) - n_s(p,i)) \hat{y}_{shift}(i,p) \leq W_{\max} \quad (7.34)$$

$$n_e(p,i), n_s(p,i) \in \{0, \dots, n_{\max}(i)\} \quad p \in \{0, 1, \dots, p_{\max}(i)\} \quad (7.35)$$

Il s'agit ici d'optimiser les instants de changement d'équipes en adoptant un critère qui utilise une version pondérée et linéarisée de l'efficacité du contrôle.

Ce sous problème d'optimisation est un problème de programmation linéaire en nombres entiers qui peut être résolu en utilisant une technique de génération de colonnes.

Bien entendu, des itérations peuvent être effectuées entre les problèmes *PQC* et *PLC*, en commençant plutôt par la résolution d'un problème *PLC* si la programmation des vols a sensiblement changé d'une semaine à l'autre.

## VII.6 coordination

La coordination entre la solution des deux problèmes peut être réalisée en prenant mieux en compte les interactions entre les deux sous-systèmes de gestion afin que la solution globale soit améliorée. Ceci peut être obtenu en effectuant à chaque étape d'une solution partielle en cours ( $PQA_a^{(h)}$ ,  $a \in A$ ,  $PQC^{(h-1)}$  et  $PLC^{(h-1)}$ ) et ( $PQA_a^{(h)}$ ,  $a \in A$ ,  $PQC^{(h)}$  et  $PLC^{(h-1)}$ ) ou d'une solution globale ( $PQA_a^{(h)}$ ,  $a \in A$ ,  $PQC^{(h)}$  et  $PLC^{(h)}$ ) une simulation globale du système, puis en modifiant les flux prévus et les poids associés à la moyenne des contraintes de temps d'attente. Nous obtenons le schéma suivant pour le processus d'amélioration de la solution:

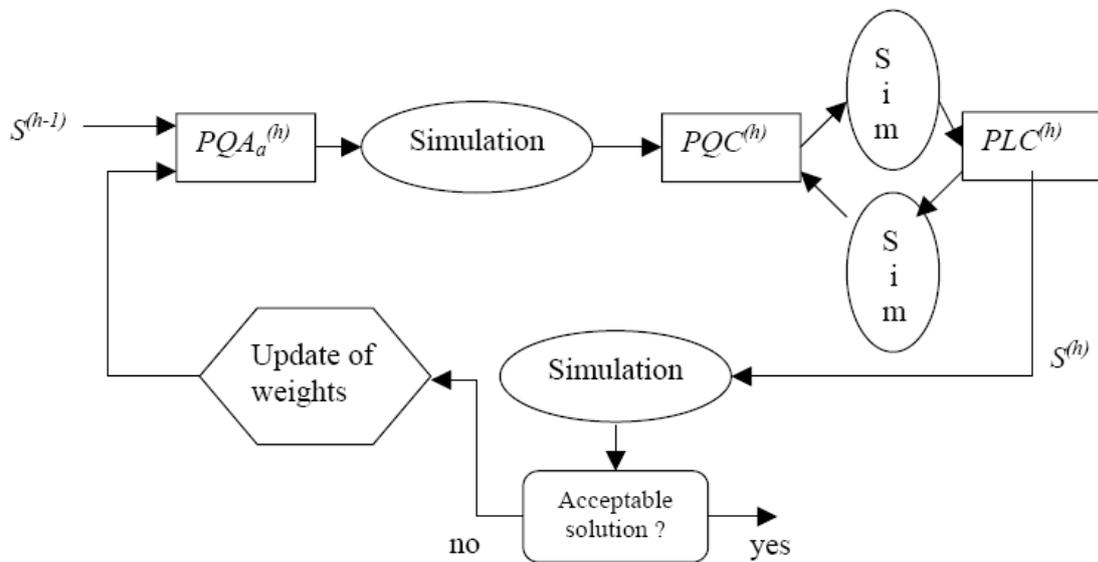


Figure 7.2. Processus de recherche de la solution

Le processus d'adaptation des pondérations du critère des compagnies aériennes peut être tel que :

$$\begin{aligned}
 & \text{Si } \sum_{i \in X_{cnt}, i \in \Gamma_j^n} (\tilde{\phi}_i(n) - T_{\max}^{cnt}(i) \Phi_{cnt} \Delta t \tilde{y}_{shift}(i, p) \tilde{\delta}_{i,p}^n) > 0 \\
 & \text{alors} \\
 \lambda_{aj}^{(h)}(n) &= \min \left\{ \lambda_{\max}, \lambda_{aj}^{(h-1)}(n) \left( 1 + \sum_{i \in X_{cnt}, i \in \Gamma_j^n} (\tilde{\phi}_i(n) - T_{\max}^{cnt}(i) \Phi_{cnt} \Delta t \tilde{y}_{shift}(i, p) \tilde{\delta}_{i,p}^n) \right) \right\} \quad (7.36)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Si } \sum_{i \in X_{cnt}, i \in \Gamma_j^n} (\tilde{\phi}_i(n) - T_{\max}^{cnt}(i) \Phi_{cnt} \Delta t \tilde{y}_{shift}(i, p) \tilde{\delta}_{i,p}^n) \leq 0 \\
 & \text{alors } \lambda_{aj}^{(h)}(n) = \lambda_{aj}^{(h-1)}(n) \quad (7.37)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Si } \sum_{k \in X_{brd}} (\tilde{\phi}_k(n) - T_{\max}^{brd}(k) \Phi_{brd} \Delta t x_k \tilde{\theta}_{k,a}^n) > 0 \\
 & \text{alors} \\
 \mu_{ak}^{(h)}(n) &= \min \left\{ \mu_{\max}, \mu_{ak}^{(h)}(n) \left( 1 + \sum_{k \in X_{brd}} (\tilde{\phi}_k(n) - T_{\max}^{brd}(k) \Phi_{brd} \Delta t x_k \tilde{\theta}_{k,a}^n) \right) \right\} \quad (7.38)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{si } \sum_{k \in X_{brd}} (\tilde{\phi}_k(n) - T_{\max}^{brd}(k) \Phi_{brd} \Delta t x_k \tilde{\theta}_{k,a}^n) \leq 0 \\
 & \text{alors } \mu_{ak}^{(h)}(n) = \mu_{ak}^{(h-1)}(n) \quad (7.39)
 \end{aligned}$$

## VII. Conclusion

Dans ce chapitre on s'est intéressé à l'optimisation des affectations des ressources matérielles et humaines destinées au contrôle du trafic de passagers. L'adoption du modèle spatio-temporel développé au chapitre précédent a permis de formuler un problème d'optimisation de la gestion des ressources de contrôle disponibles. Néanmoins, la complexité du problème formulé a conduit à proposer une approche heuristique pour sa résolution. Cette approche se base sur la subdivision du problème en deux sous problèmes, chacun sous une autorité différente (compagnies aériennes d'un côté et services aéroportuaires de l'autre) , sur des raisonnements locaux (linéarisation et évolutions hebdomadaires) et finalement pour la résolution des sous problèmes élémentaires à des techniques classiques d'optimisation.

L'optimisation de l'affectation de ces ressources est un sujet important car de celle-ci dépendra non seulement la qualité du service de contrôle mais aussi le niveau de coûts en

résultant. Ainsi, si la question de la qualité du service de sûreté est essentielle, la recherche de solutions qui maîtrisent les coûts de la sûreté à des niveaux acceptables est aussi incontournable pour garantir la permanence de niveaux de sûreté élevés.

## **CHAPITRE VIII**

### **CONCLUSION GENERALE**

L'opération du système de contrôle des passagers dans un aéroport présente des caractéristiques particulières qui conduisent à la formulation de problèmes originaux d'optimisation. Au delà des activités de vérification des titres de transport des passagers, des mesures de contrôle visant la sûreté du transport aérien, chaque fois renforcées après de nouvelles atteintes à celle-ci, ont été mises en œuvre dans les aéroports au cours des dernières décennies. Ceci a créé tout un secteur d'activité au sein des aéroports faisant appel à des équipements de contrôle chaque fois plus sophistiqués et à des équipes de sûreté chaque fois mieux entraînées. Ceci représente un surcoût non négligeable pour le secteur du transport aérien, surcoût in fine supporté par les passagers, d'où l'intérêt de le minimiser.

L'objectif principal de cette thèse a été d'apporter une contribution méthodologique à la gestion des ressources mises en œuvre dans les aéroports pour assurer la sécurité des passagers.

Après avoir introduit les principaux concepts et définitions de la sûreté aéroportuaire une analyse de l'ensemble des systèmes de contrôle des passagers dans les aéroports a été réalisée. Puis un modèle logique du système de contrôle au départ des passagers dans un aéroport a été présenté avec la finalité de permettre de tester différents scénarios d'attaque du système, d'analyser le comportement du système sous différentes conditions et d'en évaluer la perméabilité vis à vis de différents types d'attaques.

Une approche probabiliste est alors développée pour permettre l'évaluation du système de contrôle des flux de passagers à l'embarquement. Après l'établissement d'un modèle d'évaluation global basé sur un traitement sériel indifférencié des passagers, on s'est intéressé plus particulièrement à une structure de contrôle à deux étapes qui conduit alors à la formulation de problèmes d'optimisation permettant d'améliorer les performances du système de contrôle. Les résultats numériques obtenus ont mis en évidence l'intérêt de réaliser des pré-filtrages et d'organiser les passagers par groupes séparés.

On s'est alors intéressé à la modélisation spatio-temporelle des flux de passagers au départ dans un aéroport. Ceci a conduit à adopter une structure en réseau pour décrire les processus de traitement et les transferts de passagers entre les différents sites du terminal, permettant notamment de représenter l'évolution des files d'attente et des temps d'attente infligés aux passagers. Retenant ce modèle du terminal de passagers, l'optimisation des affectations des ressources matérielles et humaines destinées au contrôle du trafic de passagers a alors été considérée. La complexité du problème qui a été alors formulé a conduit à proposer une approche heuristique pour sa résolution. Cette approche se base sur la subdivision du

problème global en sous problèmes, sur des raisonnements locaux (linéarisation et faibles évolutions hebdomadaires) et sur l'utilisation de techniques classiques pour la résolution des sous problèmes résultants.

Ainsi, dans cette thèse, la démarche qui au départ était purement descriptive et normative, est devenue analytique aussi bien dans l'analyse logique du fonctionnement des postes de contrôle, que dans la modélisation des performances du système. La modélisation de ces performances a été réalisée suivant deux points de vue : tout d'abord un point de vue probabiliste puis ensuite un point de vue dynamique et spatial. Dans les deux cas des problèmes d'optimisation ont été formulés conduisant à la détermination de paramètres opérationnels permettant d'améliorer les performances du système.

Beaucoup reste à faire dans ce domaine et le développement d'outils de modélisation, d'analyse et d'aide à la décision tels que ceux qui ont été esquissés dans ce mémoire semble s'imposer pour assurer l'optimisation de l'affectation des ressources de la sûreté aéroportuaire et ainsi garantir non seulement la qualité du service de contrôle mais aussi le niveau de coûts en résultant.

## **BIBLIOGRAPHIE**

A37-WP/19 OACI ASSEMBLÉE — 37e SESSION

A37-WP/75 EX/19 16/8/10 OACI ASSEMBLÉE — 37e SESSION

A37-WP/252 EX/49B 20/9/10 OACI ASSEMBLÉE — 37e SESSION

Agostino Bruzzone, Matteo Brandolini et Marina Massei. *Demonstration for Human behavior modeling within civil disorder scenarios*, 2007

Adrian J. Lee, Sheldon H. Jacobson “The Impact of Aviation Checkpoint Queues on Security Screening Effectiveness”

Department of Mechanical Science and Engineering” University of Illinois at Urbana-Champaign  
Department of Computer Science University of Illinois at Urbana-Champaign  
May 15, 2009

Ali S. Kiran, Tekin Cetinkaya et Serafettin Og, “*Simulation modelling and analysis of a new international terminal*”

Amy E. Simms “*A Stochastic Approach to Modeling Aviation Security Problems Using the KNAPSACK Problem*” thesis June 20, 1997 Blacksburg, Virginia

Andreatta, G., Brunetta, L., and Righi, L. (2007) Evaluating terminal management performances using SLAM: The case of Athens International Airport, *Computers & Operations Research*, 34, 1532–1550.

Anderegg, A. 2007. Risk model for dynamic aviation security. Technical Presentation Mitre Corporation. Available <<http://www.mitre.org/news/events/tech07/3088.pdf>> [accessed August 26, 2009].

ARC 2009. CAST Passenger Terminal Simulation v. 1.8. Airport Research Centre GMBH. Available via <<http://www>.

[Airport.Consultants.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=26&Itemid=51](http://Airport.Consultants.com/index.php?option=com_content&view=article&id=26&Itemid=51)>  
[accessed August 26, 2009].

Assa, O. and Thomet, M. (2004) *The Virtual Airport*, Bechtel Corporation, Working Paper, ACI Europe Communiqué Airport Business.

Babu V.L., R.Batat et L.Lin (2006) , Passenger grouping under constant threat probability in an airport security system, *Europaen Journal of Opeartional Research*, N°168,pp.633-644.

Bank of NEW YORK, “*What has homeland security cost? An assessment: 2001 – 2005*”  
le 06 Janvier 2009

Banks, J. (ed.). (1998), *The Handbook of Simulation*, J. Wiley & Sons, Canada.

Barber, Federico ; Salido, Miguel A.; « Introducción a la Programación de Restricciones »;  
*Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*.  
< <http://www.aepia.org/revista>; 2003 >.

Barnhart C., E. Johnson, G. Nemhauser, M. Savelsbergh, and P. Vance. Branch-and-price: column generation for solving huge integer programs. *Operations Research*, vol.46, pp.316-329, 1998.

Brian Hennessey, Bradley Norman et Robert B. Wesson, “*Security simulation for vulnerability assessment*” 2006

Bäuerle, N., Engelhardt-Funke, O., and Kolonko, M. (2007) On the waiting time of arriving aircrafts and the capacity of airports with one or two runways, *European Journal of Operational Research*, 177(2), 1180-1196.

BiomCons 2009. Introduction to biometrics. The Biometrics Consortium. Available via <<http://www.biometrics.org/introduction.php>> [accessed August 26, 2009].

Boidin, Renaud ; « Sûreté aéroportuaire à Nantes-Atlantique » , ENAC, novembre 2003.

Boyd S. and J. Mattingley, Branch and Bound Methods, Lecture Notes, Stanford University, March 2007.

Brunetta L. et G. Romanin-Jacur, (1999), Passenger and baggage flow in airport terminal: a flexible simulation model. *Journal of air traffic management*, N°6, pp361-363.

Casado S., M. Laguna et J. Pacheco (2005), Heuristical labor scheduling to optimize airport passenger flows, *Journal of the Operational Research Society*, N°56, pp649-658.

Chawdhry P.K. (2009), Risk modeling and simulation of airport passenger departure process, *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*.

Chu, S.C.K. (2007) Generating, scheduling and rostering of shift crew-duties: Applications at the Hong Kong International Airport, *European Journal of Operational Research*, 177(3), 1764-1778.

Conférence, “ Aviation Security Today and Tomorrow “ Ottawa, le 29 Mars 2006

COMMISSION REGULATION « *Règlement 2320/2002, Instauration de règles communes dans le domaine de la sûreté de l'aviation civile* » ; 16 décembre 2002.

COMMISSION REGULATION (EU) No 18/2010 of 8 January 2010

“ amending Regulation (EC) No 300/2008 of the European Parliament and of the Council as far as specifications for national quality control programmes in the field of civil aviation security are concerned ”

COMMISSION REGULATION (EU) No 72/2010

of 26 January 2010 “laying down procedures for conducting Commission inspections in the field of aviation security”

COMMISSION REGULATION (EU) No 297/2010 of 9 April 2010

“amending Regulation (EC) No 272/2009 supplementing the common basic standards on civil aviation security”

COMMISSION REGULATION (EU) No 357/2010 of 23 April 2010

“amending Regulation (EU) No 185/2010 of 4 March 2010 laying down detailed measures for the implementation of the common basic standards on aviation security”

Correia, A.R., Wirasinghe, S.C., and de Barros, A.G. (2007) A global index for level of service evaluation at airport passenger terminals, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, doi:10.1016/j.tre.2007.05.009.

Curcio D. F. Longo, G. Mirabelli, E. Pappoff (2007) Passengers' flow analysis and security issues in airport terminal using modelling and simulation, *21st European Conference on Modelling and Simulation*, ECMS 2007 ISVBN 978-9553018-2-7

Dash Associates. *XPRESS 12 Reference Manual: XPRESS-MP Optimizer Subroutine Library XOSL*, 2000.

David R. Pendergraft, Craig V. Robertson et Shelly Shrader, “*Simulation of an airport passenger security system*” WSC '04 Proceedings of the 36th conference on Winter simulation ©2004

Davis, L. D. (1991), *Handbook of Genetic Algorithms*, Van Nostrand, New York.

Desaulniers G. , Jacques Desrosiers et Marius M. Solomon, *Column Generation*, Springer-Verlag New York Inc, 2005.

Dr Mario Gongora, Wasiq Ashfaq (Montfort University), “*Analysis of Passenger Movement at Birmingham International Airport*” . Evolutionary Computation, 2006. CEC 2006. IEEE Congress on

Diane Wilson et Eric K. Roe, “*Security checkpoint optimizer (SCO): An application for simulating the operations of airport security checkpoint*”, Juillet 2006

Escrig, M.Teresa ; Pacheco, Julio; Toledo, Francisco; « El Lenguaje de Programación PROLOG » ; 15 octobre 2000.

Farreny, H ; « Les systèmes experts » ; Cepadues, Novembre 1986.

Félix MORA-CAMINO, Cours de « *Modélisation – Optimisation – Complexité Algorithmes* »  
A.D. 2002-2003

Frontex 2008. BIOPASS, study on automated biometric crossing systems for registered passenger at four European airports. Frontex Technical Report, ISBN 978-92-95033-00-9.

Frontline 2009. Risk Solver Engine software. Frontline Systems. Available via <<http://www.solver.com/rse.htm>> [accessed August 26, 2009].

Gupta, A. and R. Davidson. 2007. Simplifying passenger travel (SPT) program. In *Third symposium and Exhibition on ICAO MRTDs, Biometrics and Security Standards*, Montreal, October 2007. [http://www.icao.int/mrtdsymposium/2007/Docs/W4\\_GuptaArun\\_DavidsonRobertt.pdf](http://www.icao.int/mrtdsymposium/2007/Docs/W4_GuptaArun_DavidsonRobertt.pdf) [accessed August 26, 2009].

Holland, J. H. (1975), *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, USA.

HMSO 2005. BS7799-3:2005. Information security management systems - guidelines for information security risk management, Her Majesty's Stationary Office, UK. Available via <<http://17799.standardsdirect.org/bs7799.htm>> [accessed August 26, 2009].

IATA :Forsyth, Richard ; « Expert Systems » ; 1984.

ICAO 2008. Simplifying passenger travel's ideal process flow (IPF). International Civil Aviation Organization Working Paper FALP/5-WP/6 (28/02/08). Available via <[http://www.icao.int/icao/en/atb/sgm/fal/falp/Docs/wp06\\_en.pdf](http://www.icao.int/icao/en/atb/sgm/fal/falp/Docs/wp06_en.pdf)> [accessed August 26, 2009].

ICAO 2006 . Annexe 17

Imed Jarras et Brahim Chaib-draa *Aperçu sur les systèmes multiagents*, Montréal,  
Juillet 2002

Inès Alaya, Christine Solnon et Khaled Ghédira « Optimisation par colonies de fourmis pour le problème du sac à dos multidimensionnel, le 25 février 2005 »

Jacobson, S.H., Lee, A.J., Nikolaev, A.G.,( 2009), Designing for Flexibility in Aviation Security Systems, *Journal of Transportation Security*, 2(1&2),pp. 1-8.

Jenkins, Darryl; « A primer on airport security».

< [http://www.maxwell.syr.edu/campbell/Governance\\_Symposium/jenkins.pdf](http://www.maxwell.syr.edu/campbell/Governance_Symposium/jenkins.pdf) > .

Jim, H.K. and Chang, Z.Y. (1998) An airport passenger terminal simulator: A planning and design tool, *Simulation Practice and Theory*, 6, 387-396.

Juan Carlos Martín Mateos. Développement d'un Système d'Aide à la Décision pour l'Analyse de Sûreté dans une Aérogare Toulouse; Mai 2005

Juan CARLOS MATEOS, GILLES VIGNERON « Modélisation de l'accessibilité d'un aéroport : application à la sûreté »

Kaltenhäuser, S. (2003) Tower and airport simulation: flexibility as a premise for successful research, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 11, 187-196.

Larrosa, Javier; Meseguer, Pedro; « Algoritmos para la Satisfacción de Restricciones»; Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial.

< <http://www.aepia.org/revista>; 2003 > .

Ledru, Y., M. Lemoine, D. Bert, V. Donzeau-Gouge, C. Dubois, R. Laleau, F. Peureux, and S. Vignes. 2005. Modeling Airport Security: the EDEMOI approach. Available via <<http://vasco.imag.fr/EDEMOI/PresentationsPubliques/ModelingAirportSecurity.pdf>> [accessed August 26, 2009].

Vincent BOYER « Une heuristique pour le problème du sac à dos multidimensionnel »

Journal, <<Sécurité aux aéroports: L'Etat veut voir sous les vêtements>>, le 07 Juin 2008

Journal, <<Le Passager aérien>> n° 25 Juillet/ Août/ Septembre 2004>>

Journal OACI, << Sécurité et sûreté : défis d'un contexte commercial et opérationnel en mutation>> numéro 1, 2006

Publication EDEMOI par Yves Ledru, M. Lemoine, D. Bert, V. Donzeau-Gouge, C. Dubois, R. Laleau, F. Peureux et S. Vignes, <<Modeling airport Security : the EDEMOI approach>>

Publication EDEMOI par David Delahaye, Jean- Frédéric Etienne and Véronique Vigié Donzeau-Gouge, << Modeling Airport Security Regulations in Focal>>

Publication CIRCULAR, <<Using Simulation to Evaluate Impacts of Airport Security>>, January 12, 2003, Washington, D.C.

Lee, A.J., Nikolaev, A.G., Jacobson, S.H., (2008), Protecting Air Transportation: A Survey of Operations Research Applications to Aviation Security, *Journal of Transportation Security*, 1(3), pp.160-184.

Lemoine, M.; Vignes, S.; « Projet EDEMOI »; 12 juillet 2004.

Leone, K. and Liu, R. (2005) The key design parameters of checked baggage security screening systems in airports, *Journal of Air Transport Management*, 11, 69–78.

Lesieur, Jonathan; « Nouvelles contraintes de sûreté dans le transport aérien », ENAC, 2003.

Nicolas LOUKAKOS *Les accidents de sûreté et le rôle de la prévention dans le transport aérien*, 05 février 2001

Magazine AEROPORTS, « Sûreté enjeu d'excellence », N° 351 – Septembre-Octobre 2004

Madas, M.A. and Zografos, K.G. (2008) Airport capacity vs. demand: Mismatch or mismanagement?, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(1), 203-226.

Maroochy Council (2007) Sunshine Coast Airport Master Plan, Maroochydore,

McLay, L.A., Jacobson, S.H., Nikolaev, A.G., 2009, "A Sequential Stochastic Passenger Screening Problem for Aviation Security," *IIE Transactions*, 41(6), 575-59117.

Moore R. E., Global optimization to prescribed accuracy. *Computers and Mathematics with Applications*, vol.21(6/7), pp.25–39, 1991.

Offerman, H. (2001) Simulation to Support the Airport Stakeholder Decision-Making Process, *Air & SpaceEurope*, 3(1/2), 60-67.

Organisation de l'Aviation Civile Internationale ; « Annexe 17 à l'aviation civile internationale » ; 7<sup>ème</sup> édition ; Avril 2006.

Perrot N., Integer Programming Column Generation Strategies for the Cutting Stock Problem and its Variants, Thèse, Université de Bordeaux1, 2005.

Publication de l'Organisation International du Travail, « *Conséquences sociales et en matière de sécurité de la crise consécutive au 11 septembre* » Genève, 2002

Ray, C. and Claramunt, C. (2003) A distributed system for the simulation of people flows in an airport terminal, *Knowledge-Based Systems*, 16, 191–203.

Règlement n°11/2005/cm/UEMOA relatif à la sûreté de l'aviation civile au sein des états membres de l' UEMOA.

Roanes-Lozano, E. Laita, L.M., and Roanes-Macías, E. (2004) An accelerated-time simulation of departing passengers'flow in airport terminals, *Mathematics and Computers in Simulation*, 67, 163–172.

Roca, Guy; « Sûreté aéroportuaire : Application à l'Aéroport Bordeaux-Mérignac », ENAC, 1998.

Russel, A. ; Tritsch, C. ; Deburghghaeve, M.; Duluc, T.; Bedis, G.; Hupays, M.; Guignier, F.; Vega, N.; Boutillier, P.; Cassat, P.; Le Meillour, S.; « La sûreté Aéroportuaire » ; Mastère Management Aéroportuaire ; mars 2004.

Jacques TISSEAU « Le langage Prolog » Ecole Nationale d'Ingénieurs de Brest  
Technopole Brest-Iroise CS 73862 – 29238 Brest cedex 3 – France

Saetta S. and L. Tiacci (2005), A new methodology for applying simulation driven metaheuristics to the balancing of security inspection lines, *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*.

Stefano Saetta, Lorenzo Tiacci “A new methodology for applying simulation driven metaheuristics to the balancing of security inspection lines” WSC '05 Proceedings of the 37th conference on Winter simulation.

Tayeb LEMLOUMA , Abdelmadjid BOUDINA “Programmation logique avec contraintes (CLP) Etude et application au puzzle : ‘Send plus More equal to Money”

Opera Project, INRIA Rhône-Alpes, ZIRST - 655 avenue de l'Europe, 38330 Montbonnot-St-Martin Phone: (+33) 4 76 61 52 81 Fax: (+33) 4 76 61 52 07

Institut d'informatique, U.S.T.H.B, B.P .32 El-Alia Bab Ezzouar, Alger 16111, ALGERIE.

Tel / fax 213 2 24 76 07

Igor Crévits, Saïd Hanafi, Raïd Mansi et Christophe Wilbaut

« Heuristiques itératives hybrides pour le sac à dos multidimensionnel à choix multiples »

LAMIH, Université de Valenciennes, F 59313 Valenciennes Cedex9, France

Van Dijk, N.M. and van der Sluis, R. (2006) Check-in computation and optimization by simulation and IP in combination, *European Journal of Operational Research*, 171, 1152–1168.

Vance, P.H., C. Barnhart, E.L. Johnson, and G. Nemhauser. Solving binary cutting stock problems by column generation and branch-and-bound. *Computational Optimization and Applications*, vol.3, pp.111--130, 1994.

Van Landeghem, H. and Beuselinck, A. (2002) Reducing passenger boarding time in airplanes: A simulation based approach, *European Journal of Operational Research*, 142(2), 294-308.

Vincent Barichard et Jin-Kao Hao (Université d'Angers), « *Un algorithme hybride pour le problème de sac à dos multi-objectifs* »

Viggo Butler, Robert W. Poole, Jr. "Rethinking Checked – Baggage Screening", July 2002

Wolsey L.A. Integer Programming, Wiley, New York, 1998.

Yan, S. and Tang, C.-H. (2007) A heuristic approach for airport gate assignments for stochastic flight delays, *European Journal of Operational Research*, 180(2), 547-567.

Yeh, C.-H. and Kuo, Y.-L. (2003) Evaluating passenger services of Asia-Pacific international airports, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 39(1), 35-48.

Zografos, K.G. and Madas, M.A. (2006) Development and demonstration of an integrated decision support system for airport performance analysis, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 14(1), 1-17.

## **ANNEXE 1**

### **ELEMENTS D'ORGANISATION DE L'AEROGARE**

## **A1.1 Les fonctions de l'aérogare**

L'objectif principal d'une aérogare est le transfert des passagers et de leurs bagages entre deux modes de transport dont l'un au moins est aérien. Conformément à cet objectif principal, il est défini un certain nombre de fonctions destinés à permettre à l'aérogare de répondre efficacement aux exigences de ses principaux usagers que sont les passagers aériens.

Pour ce faire, à chaque objectif, il est associé une fonction qui permet de l'atteindre. On distingue alors les cinq fonctions suivantes :

- ❖ La fonction trafic ;
- ❖ La fonction commerciale ;
- ❖ La fonction opérationnelle ;
- ❖ La fonction administrative ;
- ❖ La fonction technique.

### **La fonction trafic**

Elle correspond aux opérations de traitement du passager et de ses bagages. Elle regroupe :

- L'accueil et le stationnement des moyens de transport terrestre ;
- L'enregistrement des passagers et de leurs bagages ;
- Le contrôle des bagages de soute : filtre de contrôle, zone de circulation et file d'attente suivant le type de contrôle, bureaux directement associés ;
- L'acheminement et le tri des bagages départ: regroupement des bagages, tri par destination, chargement des chariots et conteneurs ;
- Le contrôle de police ;
- Le contrôle de douane;
- Le contrôle de sûreté passagers et bagage à main ;
- Le contrôle de santé ;
- Le débarquement et l'embarquement des passagers.

La fonction trafic représente le cœur fonctionnel de l'aérogare. En effet, le passager et ses bagages doivent « s'acquitter » de certaines formalités (enregistrement, santé, police, douane et/ou sûreté selon le cas) avant de prendre un avion ou de quitter l'aérogare. Ce sont les conditions de circulations des flux (passagers, personnels et bagages) au cours de ces

formalités et les fonctionnalités qui s'y rattachent qui déterminent en règle générale la capacité horaire.

### **La fonction commerciale**

Elle consiste à promouvoir des activités commerciales au sein de l'aérogare. Les produits et services offerts sont destinés à rendre plus confortable le séjour des usagers dans l'aérogare. Cette fonction est d'une part associée à une recherche de rentabilité des surfaces et d'autre part liée à un choix spécifique du gestionnaire eu égard à la qualité de service et l'image même de l'aéroport. On distingue selon les aéroports les activités commerciales suivantes :

- La vente de billets d'avion, des tickets de train ou de bus;
- Les téléphones publics ;
- Les services de change ;
- Les services de location de voiture ;
- Les services hôteliers ;
- La poste ;
- La pharmacie ;
- Les Bars et restaurants ;
- Les salons des compagnies aériennes
- Les espaces d'exposition et de conférence ;
- Les salons VIP ;
- Les boutiques tabacs/journaux ;
- Autres boutiques;

Cette fonction intervient peu dans le calcul de la capacité horaire de l'aérogare. Pourquoi ?

### **La fonction opérationnelle**

Elle regroupe toutes les prestations nécessaires au fonctionnement de l'aérogare et au traitement de l'avion avant ou après le vol.

- Les Postes de contrôle et d'exploitation d'aérogare : contrôle de fonctionnement de l'aérogare ; regroupement des informations sur le trafic ;
- Les locaux des compagnies: salle de préparation des vols, salles de repos des équipages ;
- Les locaux divers d'exploitation dont ceux d'assistance en escale.

Cette fonction est un facteur conditionnant de la capacité horaire d'une aérogare dans la mesure où elle conditionne les modalités de traitement des avions. En effet, les avions avant

de pouvoir décoller doivent subir un traitement appeler escale (nettoyage de l'appareil, approvisionnement en nourriture de bord, devis de masse, devis de centrage, visite prévol, remplissage de la soute à carburant, dépôt d'un plan de vol entre autres choses).

Les locaux utilisés pour effectuer ces tâches (locaux de stockages de matériels, locaux de replis ou locaux de préparation des vols) peuvent se situer pour tout ou en partie à l'extérieur de l'aérogare.

Ce cas de figure ne favorise pas une exploitation optimale des infrastructures.

### **La fonction administrative**

Elle est destinée à satisfaire les besoins administratifs du gestionnaire, des différents usagers et éventuellement des services d'Etat présents dans l'aérogare. On distingue selon le cas :

- Les locaux du gestionnaire: bureaux; salles de réunion ;
- Les locaux des compagnies: bureaux, salles de réunion ;
- Les locaux des services de l'État : Aviation civile, douanes, santé, météorologie, Police de l'air et des frontières ;
- La cantine administrative et les cuisines.

### **La fonction technique**

Elle est nécessaire au bon fonctionnement de l'aérogare. Il s'agit :

- Des Locaux techniques : centrale électrique ; centrale de traitement d'air...
- Des zones de stockage : hors commerces et bars/restaurants.

### **Les circuits**

Les formalités à accomplir par le passager conduisent à définir dans l'aérogare des cheminements que ceux-ci emprunteront avec et sans leur bagage e soute. Le schéma de ces cheminements doit respecter les principes suivants :

- Le cheminement doit s'effectuer dans l'ordre des formalités sans recouplement ni rebroussement ;
- Le cheminement doit apparaître aux passagers d'une manière claire, logique, et sans ambiguïté d'orientation ;
- Les passagers sous douanes ne doivent avoir aucun contact avec les passagers hors douanes, il en est de même pour les passagers filtrés et les passagers n'ayant pas subit le contrôle de sûreté. Ce qui impose une séparation des circuits départ et arrivée.

- Le traitement des vols sensibles en termes de sûreté doit se faire dans une zone isolée de l'aérogare.

## **A1.2 Les objectifs**

Eu égard aux différentes fonctions assignées à une aérogare :::::

### **La qualité de service**

Dans le fonctionnement d'une aérogare, la notion de qualité de service regroupe un certain nombre d'éléments nécessaires pour assurer aux usagers un niveau de satisfaction optimal.

### **La rapidité**

La rapidité est le premier facteur qui confère au transport aérien son caractère compétitif par rapport aux autres modes de transport. Elle est d'autant plus importante qu'elle conditionne le respect des horaires qui fait l'image de marque non seulement des transporteurs aériens mais aussi des aéroports. Il est donc primordial que le temps gagné dans l'avion ne soit pas perdu dans l'aérogare. Le principe de rapidité impose la réduction des attentes à tous les niveaux pendant le traitement du passager et de ses bagages.

### **Le confort**

Il repose sur le fait que le passager aérien est soumis, dans l'aérogare, à des contrôles assez contraignants qui peuvent impliquer à la limite, des malaises de tous ordres. Par conséquent, il convient de chercher à remettre le passager en confiance. Ceci peut consister à :

- réduire les distances de marche à pied ;
- définir des itinéraires simples et directs ;
- disposer de toilettes, des chariots à bagages et des sièges en nombre suffisant ;
- ouvrir des commerces dans l'aérogare ;
- aménager un éclairage satisfaisant ;
- veiller à ce que l'ambiance dans l'aérogare ne soit pas trop bruyante.

### **La qualité architecturale et la qualité du cadre de travail**

Il s'agit de l'aspect attractif de l'architecture même de l'aérogare et surtout de l'ordre et de la propreté qui y règne.

La qualité de service étant une notion essentiellement subjective, chaque passager l'apprécie avec ses propres critères. On peut néanmoins dégager des idées générales en s'appuyant sur la typologie du passager aérien.

## **L'économie**

Le coût de fonctionnement d'une aérogare et de son aménagement est fonction de la qualité de service. Il est élevé lorsqu'on veut offrir une meilleure qualité de service. Il convient donc de rechercher en termes économiques le meilleur compromis entre le coût du système offert pour un niveau de qualité de service donné et les avantages qui en résultent. Au niveau de la sûreté suivant la politique du PNS, le nombre de passagers à traiter le coût de la sûreté est différent. Nous le verrons dans un prochain chapitre.

## **L'adaptabilité**

L'incertitude sur les prévisions de trafic rend illusoire tout calcul précis de rentabilité économique des aérogares. Pour palier les éventuelles erreurs graves de sur ou sous dimensionnement des différents modules de l'aérogare et pour pouvoir adapter la capacité des installations en fonction de l'évolution des procédures, on cherchera une structure de bâtiment permettant de réaliser aussi facilement les modifications à l'intérieur du bâtiment ou des extensions. C'est ce que l'on appelle extensibilité et souplesse d'aménagement. Ces deux qualités sont primordiales pour une aérogare, car le trafic est en perpétuelle évolution.

La préoccupation majeure du gestionnaire d'aérogare est d'assurer efficacement chacune des fonctions ci-dessus. Car de nos jours, le niveau de concurrence entre les aéroports est assez élevé et, pour se faire une place considérable sur le marché, il faut impérativement satisfaire au mieux les désirs des usagers. Pour ce faire, il est important pour le gestionnaire de connaître la capacité des infrastructures dont il dispose. Car, en matière de gestion aéroportuaire, tout dépassement de capacité entraîne forcément une dégradation de la qualité du service rendu aux usagers.

## **A1.3 Définitions de termes techniques aéroportuaires**

Aérogare : le bâtiment principal ou groupe principal de bâtiments dans lequel se déroulent la prise en charge des passagers et du fret et leur embarquement pour des vols commerciaux.

Aéroport : toute zone d'un État membre ouverte aux opérations commerciales de transport aérien.

Article prohibé : un objet pouvant être utilisé pour commettre des actes d'intervention illicite et qui n'a pas été régulièrement déclaré et soumis aux lois et règlements applicables.

Aviation générale : l'ensemble des activités de vols réguliers ou non réguliers qui ne sont ni proposées, ni mises à la disposition du grand public.

Bagage de cabine : le bagage destiné à être transporté dans la cabine d'un aéronef

Bagage de soute : le bagage destiné à être transporté dans la soute d'un aéronef.

Bagage de soute accompagné : le bagage admis au transport dans la soute d'un aéronef et enregistré par un passager se trouvant à bord.

Contrôles de sûreté : moyens par lesquels l'introduction d'articles prohibés peut être empêchée.

Convention de Chicago : la convention relative à l'aviation civile internationale et ses annexes, signée à Chicago le 7 décembre 1944.

EDDS : le système de détection d'engins explosifs est un système ou une combinaison de différentes technologies capables de détecter, et par suite d'indiquer au moyen d'une alarme, la présence dans un bagage d'un engin explosif, par la détection d'un ou de plusieurs des composants de cet engin, quel que soit le matériau de ce bagage.

EDS : le système de détection d'explosifs est un système ou une combinaison de différentes technologies capables de détecter, et par suite d'indiquer au moyen d'une alarme, la présence dans un bagage d'une matière explosive, quelque soit le matériau de ce bagage.

Équipement de détection de traces : le système ou la combinaison de différentes technologies capables de détecter de très petites quantités (1 milliardième de gramme) et d'indiquer ainsi au moyen d'une alarme, la présence de matières explosives dans les bagages ou d'autres articles devant être examinés.

Facilitation : prise en compte de l'importance de la capacité de traitement et du confort des passagers dans une aéro-gare.

Flux : mouvement de personnes ou d'objets entre deux points d'un aéroport.

Inspection/filtrage : application de moyens techniques ou autres visant à identifier et/ou détecter des articles prohibés.

Programme national de sûreté de l'aviation civile : les règlements, pratiques et procédures mis en oeuvre de manière harmonisée par les États membres, conformément à l'article 5 du règlement (CE) no 2320/2002, pour assurer la sûreté de l'aviation civile sur leur territoire,

Sûreté aérienne : la combinaison des mesures ainsi que des moyens humains et matériels visant à protéger l'aviation civile contre les actes d'intervention illicite

Sécurité : prévention des défaillances résultant de facteurs involontaires (exemple : sécurité du transport aérien, sécurité incendie,...)

TIP: Threat Image Projection, (projection d'images fictives ou d'images de menace) logiciel qui peut être installé sur certains systèmes à rayons X. Le programme permet de superposer des images virtuelles d'articles dangereux (par exemple, un revolver, un couteau, un engin explosif improvisé) à l'image d'un bagage réel soumis aux rayons X et contribue directement à accroître la capacité de l'opérateur du système à rayons X à détecter de tels articles.

Vol commercial : un vol régulier ou non régulier ou une activité de vol effectuée en vertu d'un contrat de location destiné au grand public ou à des groupes privés moyennant rémunération.

Vol Schengen : vol effectué entre deux Etats signataires de l'accord de Schengen autorisant la suppression des contrôles des personnes aux frontières intérieures entre ces Etats.

**ANNEXE II**

**LE CADRE REGLEMENTAIRE ET OPERATIONNEL**

**DE**

**LA SÛRETE DES TERMINAUX DE PASSAGERS**

## **A2.1 La réglementation**

### **A2.1.1 Les obligations internationales**

Les passagers dans un aéroport sont en contact avec de nombreux intervenants : l'autorité aéroportuaire, les transporteurs aériens, les organismes gouvernementaux, les concessionnaires de vente au détail et le personnel de sûreté.

La Norme 4.4.1 de l'annexe 17 de l'OACI stipule que « Chaque État contractant à la Convention de Chicago adoptera des mesures pour que les passagers au départ de vols commerciaux, leurs bagages de cabine ainsi que les bagages de soute soient soumis à une inspection/filtrage avant l'embarquement dans un aéronef au départ d'une zone de sûreté à accès réglementé ». La règle fondamentale est que tous les passagers et tous leurs bagages cabine doivent être soumis à un filtrage avant de pouvoir accéder à un aéronef, une zone stérile ou une zone de sûreté à accès réglementé. Ces mesures de filtrages doivent être appliquées à toutes autres personnes, incluant les équipages de conduite et de cabine. Cette procédure doit être appliquée à tous les vols internationaux et dans la mesure du possible, à tous les vols intérieurs. Elle est particulièrement nécessaire lorsque les passagers filtrés de vols internationaux entre en contact avec des passagers non filtrés de vols intérieurs après le point de filtrage des passagers.

### **A2.1.2 Les obligations régionales**

Nous citerons ici quelques institutions régionales ouest africaines impliquées dans la sûreté aéroportuaire :

L'UEMOA (Union Economique et Monétaire Ouest Africaine) : Selon le règlement de l'UEMOA, l'Inspection/Filtrage est la Mise en oeuvre de moyens techniques ou autres en vue d'identifier et/ou de détecter les armes, les explosives ou tous autres engins dangereux qui peuvent être utilisés pour commettre un acte d'intervention illicite. Tous les passagers en partance et/ou en transit à un aéroport sont soumis à une inspection/filtrage pour empêcher l'introduction d'articles interdits dans les zones de sûreté à accès réglementé ou à bord des aéronefs.

Cette inspection/filtrage des passagers peut être réalisée par l'une des méthodes suivantes :

- Fouille manuelle ;
- Franchissement d'un portique de détection des masses métalliques. Même si cette méthode est utilisée, il convient également de procéder à une fouille manuelle régulière sur tous les passagers qui déclenchent l'alarme en passant sous l'appareil de détection, ainsi que par sondage régulier sur ceux qui ne déclenchent pas l'alarme.

CEMAC (Communauté Economique et Monétaire de l'Afrique Centrale): Les dispositions qui doivent être prises au niveau de l'inspection filtrage sur les plate-formes des pays membres de la CEMAC sont en autres :

- L'acquisition des équipements ou la réalisation des dispositifs des systèmes de sûreté incombe à l'Etat.
- Dans le cas de concession d'un aéroport, le fonctionnement, la maintenance et la réalisation des dispositifs des systèmes de sûreté peuvent être confiés aux concessionnaires.
- Les procédures d'inspection/filtrage des passagers et de leurs bagages sont fixées par des textes particuliers dans chaque Etat membre.
- Les comités locaux de sûreté aux aéroports les évaluent périodiquement et adressent des comptes rendus mensuels au responsable du service sûreté et facilitation de l'autorité compétente. Ces comptes rendus donnent lieu à des directives éventuelles ou des décisions du Comité National de Sûreté pour les cas exceptionnels (vols à risques, diplomates, prisonniers, armes à feu...)

## **A2.2 Les missions des gestionnaires de l'aéroport et la sûreté**

Dans le cadre de la sûreté aéroportuaire, les gestionnaires des aéroports ont, sous la responsabilité de l'Etat., un rôle important à jouer. On peut distinguer plusieurs pôles de responsabilités. Chaque Etat membre doit met en place une autorité de coordination de la mise en oeuvre des mesures de sûreté sur chacun des aéroports auxquels s'applique le présent Règlement. Cette autorité établit et met en oeuvre un Programme de Sûreté d'Aéroport permettant de répondre aux exigences du Programme National de Sûreté de l'Aviation Civile sur chaque aéroport servant à l'aviation civile. Chaque Etat membre met en place un Comité de Sûreté d'Aéroport sur ses aéroports qui assiste l'autorité. Le Comité de Sûreté d'aéroport comprend entre autres membres, l'autorité compétente, le gestionnaire d'aéroport, les forces de l'ordre, les exploitants d'aéronefs, les compagnies d'assistance au sol, les transitaires, les locataires, les prestataires de services et tous les usagers dont la présence est jugée nécessaire

par l'Etat. Chaque Etat membre s'assure que, dans le cadre de la conception ou de l'aménagement des aéroports, des aérogares de passagers ou de fret et d'autres bâtiments aéroportuaires offrant un accès direct du côté piste, les exigences essentielles sont respectées en ce qui concerne, notamment :

- a) les mesures de sûreté applicables aux passagers, aux bagages, au fret, aux colis express, à la poste et aux provisions et fournitures des services de restauration des transporteurs ;
- b) la protection et le contrôle des accès aux côtés piste, aux zones de sûreté à accès réglementé et aux autres zones et installations sensibles de l'aéroport ;
- c) l'utilisation efficace des équipements de sûreté.

Les aéroports doivent assurer l'inspection filtrage de toutes les personnes, de leur bagage cabines et de tous les bagages de soute présentés par les compagnies aériennes. Pour ce faire, ils sont tenus d'équiper les installations communes de traitement des passagers d'au moins un poste d'inspection filtrage des passagers donnant accès au secteur d'embarquement. Il importe donc de faire installer des équipements de filtrage de sûreté en quantités suffisantes pour l'affluence prévue de passagers, et des équipements d'appoint devraient être disponibles pour être mis en ligne rapidement en cas de défaillance. Ils doivent assurer aussi la maintenance et l'exploitation des contrôles d'accès. Il faudra aussi matérialiser l'interdiction de passage par les postes d'inspection filtrage en dehors des périodes de fonctionnement du service Inspection Filtrage des Passagers et Bagages Cabines ( IFPBC). De plus, il est demandé d'effectuer la stérilisation du poste d'inspection filtrage et de la salle d'embarquement. La stérilisation de ces deux zones doivent être effectuée par un groupe de quatre personnes (agents de sûreté ou police). Elle consiste à faire une fouille minutieuse des deux zones avant l'arrivée des passagers. La fouille doit être effectuée avec comme unité de hauteur : du sol à la hanche, de la hanche à la tête et de la tête au plafond. Tous objets interdits, découverts dans cette zone doivent être retirés et un compte rendu de la fouille doit être effectué par écrit. Les zones étant rendues stériles, le gestionnaire de l'aéroports devra aménager les installations mise en service ou rénovée de telle sorte que les personnes situées à l'intérieur des lieux d'embarquement ne puissent recevoir d'objet. De plus, il faut assurer la sûreté des zones stériles. Tous les points d'accès possibles seront verrouillés ou contrôlés. Une inspection complète des zones stériles sera effectuée avant leur remise en service après une période de non- utilisation.

Le gestionnaire de l'aéroport doit informer les passagers de la liste des articles prohibés en cabine et des précautions à prendre en matière de surveillance des bagages. En effet afin que

se déroule plus sereinement le voyage, celui-ci doit être bien préparé. La préparation d'un voyage constitue d'ailleurs un élément important d'un parcours se déroulant sans encombre. Les aéroports doivent donc informer les passagers en mettant à leur disposition une notice d'information sous différentes formes (brochure, dépliant, affiche, message audio, exposition des articles interdits). Ces informations doivent aussi être disponibles au niveau des agences de voyages, des tours opérateurs, des offices de tourisme, des compagnies aériennes, des hôtels et du site Internet de l'aéroport. Certains aéroports travaillent également pour améliorer et harmoniser les « messages de sûreté » destinés au public dans les aéroports : pictogrammes plus parlants pour les affichages papier et écrans, films explicatifs pour la télévision interne, messages dans les parkings automobiles, formation des agents.

Ces informations doivent préciser :

- les différents contrôles auxquels ils peuvent être confrontés ;
- comment préparer ses bagages ;
- les précautions à prendre ;
- les consignes de sûreté et de sécurité à respecter .

L'un des objectifs de ce dispositif de communication est d'éviter que le passager courre le risque de porter sur lui des objets considérés comme dangereux et ne doivent les abandonner lors du passage au poste d'inspection filtrage ( PIF) pour qu'ils soient détruits.

Le gestionnaire de l'aéroport est aussi tenu d'informer les services de toute situation qui empêcherait d'assurer les objectifs de sûreté et ensuite, du rétablissement de la situation normale. Par exemple en cas de panne d'un matériel de sûreté, le gestionnaire doit alors envisager de faire appliquer la procédure en mode dégradé.

Le gestionnaire d'aérodrome assure l'achat, l'entretien et le renouvellement des équipements de sûreté (RX, magnétomètre, portiques, détecteurs de traces ...).

Afin d'éviter les vols, il doit en particulier équiper les comptoirs d'enregistrement de dispositifs permettant de protéger les étiquettes et les cartes d'embarquement, équiper les tapis collecteurs de bagages de dispositifs empêchant la dépose de bagages non-enregistrés. Les zones de traitement des bagages (en attente de chargement entre autre) doivent être dotées de dispositifs destinés à en assurer la surveillance et y vérifier l'absence de bagages abandonnés avant chaque mise en service. Il faut équiper les portes à l'intérieur des passerelles d'embarquement de fermetures sécurisées.

Le gestionnaire de l'aéroport doit définir des zones publiques et des zones réservées :

- La zone publique est celle accessible à tous et chacun peut y circuler librement. Elle fait bien entendu l'objet d'une surveillance, comme tout édifice public, dans le but de

maintien de l'ordre public mais ne fait pas l'objet de mesures de sûreté. C'est une zone dont l'accès à certaines parties peut être réglementé.

- La zone réservée. L'accès à la zone réservée est quant à lui soumis à la possession d'un titre spécial de circulation, telle une carte d'embarquement pour un passager ou un badge pour un membre du personnel, et à des consignes particulières. A son entrée, un contrôle a lieu pour vérifier que la personne est autorisée à y pénétrer.

Sur certains aéroports, la zone est segmentée en divers secteurs, chacun de ces secteurs requérant une autorisation spécifique.

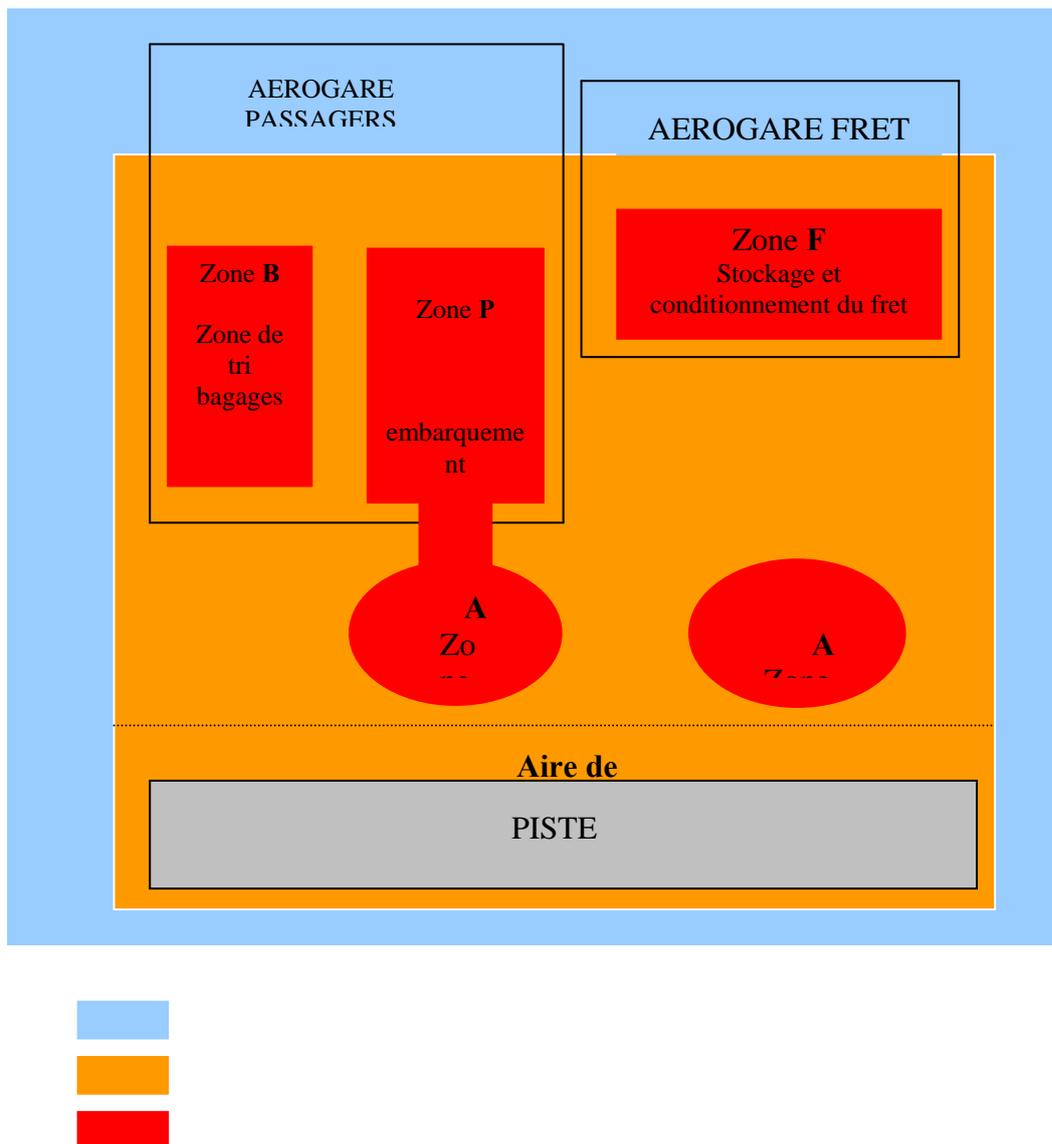
Par exemple sur certains aéroports (Roissy Charles de Gaulle) la zone réservée peut être découpée en quatre secteurs géographiques A (avion), B (bagages), F (fret) et P (Passagers). Dans la zone A, à proximité de l'avion, vont circuler tous ceux qui s'occupent de l'appareil durant son escale (avitailleurs, bagagistes..). La zone B correspond aux galeries bagages : y circulent les bagagistes, les opérateurs sûreté. La zone F est dévolue aux activités de fret. La zone P correspond aux parties de l'aérogare où circulent les passagers. Le badge précise dans quel secteur le détenteur a le droit de circuler.

Il existe aussi des secteurs fonctionnels d'un aéroport : ce sont ceux qui ne sont pas directement liés aux activités de transport mais plutôt au fonctionnement de l'aéroport. En font parties : les aires de manœuvre ( MAN), les aires de trafic ( TRA) , les zones de génération d'énergie ( ENE), les galeries techniques ( GTE) et les aménagement liés au contrôle de la navigation aérienne ( NAV) . le badge précise également au sein de quels secteurs fonctionnels, le titulaire a l'autorisation de circuler.

Dans toute zone réservée, le port du badge apparent est obligatoire. La gendarmerie est chargée d'opérer des contrôles, mais il est surtout du ressort du personnel de signaler les personnes sans badges ou avec un badge non valide.

La *zone réservée sûreté* est la partie de la zone réservée au sein de laquelle il faut en plus passer par le poste d'inspection filtrage pour y pénétrer. Seuls doivent pénétrer dans la zone réservée, les véhicules et les personnes disposant d'une autorisation d'accès. De plus il faut réaliser l'inspection filtrage des véhicules et des personnes qui ont un titre de circulation valide et s'assurer, en cas d'accès accompagné, de la présence de l'accompagnateur en ZR (escorte). Selon la configuration de l'aéroport (nombre de niveaux, aérogare linéaire ou à satellites ...) et la disposition des installations (banques d'enregistrement avant ou après le contrôle de police par exemple), la frontière entre la zone publique et la zone réservée peut être plus ou moins compliquée.

Le comité local de sûreté doit élaborer et mettre à jour le programme de sûreté d'aéroport qui doit être établi et mis en œuvre en conformité avec le PNS. Un programme d'assurance qualité doit aussi être élaboré et mis en œuvre en conformité avec le Plan National de suivi de la Qualité de Sûreté (PNQS).



**Figure A2.1** Les différentes zones associées à un terminal

### **A2.3 Le rôle des compagnies aériennes dans le cadre de la sûreté**

Le rôle des compagnies aériennes au niveau de la sûreté peut commencer depuis l'achat du billet. Il consistera à établir un profil du passager en lui posant des questions. Ce questionnement pourra être poursuivi au moment de l'enregistrement. D'autre part, les compagnies aériennes doivent :

- n'embarquer que les passagers et leurs bagages cabines qu'après qu'ils aient été soumis à l'inspection filtrage, en assurant les vérifications de concordance, la surveillance des comptoirs d'enregistrement ect ...
- prendre des mesures de protection aux comptoirs ;
- procéder à un questionnement des passagers sur le contenu de leurs bagages ,la personne qui a fait le bagage , si le passager transporte des affaires qui ne lui appartiennent pas ....
- sensibiliser les passagers sur les articles interdits à bord ;
- établir un programme de sûreté et un programme d'assurance qualité ;
- Limiter l'accès aux aéronefs aux passagers dûment identifiés.

Les compagnies aériennes sont aujourd'hui tenues d'organiser des contrôles rigoureux pour s'assurer que le passager qui embarque est bien celui qui a enregistré, qu'il n'a pu être mis en contact avec une personne qui n'a pas subi l'inspection filtrage, que l'intégrité des bagages de soute a été maintenue et que tout bagage d'un passager qui ne s'est pas présenté à l'embarquement est retiré de l'avion. Elles doivent aussi veiller à ce que toutes les personnes qui approchent d'un aéronef soient autorisées à le faire et, pour les destinations les plus sensibles, pratiquer une inspection-filtrage de toutes les personnes qui y accèdent ainsi qu'une visite de sûreté de la cabine et des soutes. S'ajoute à ce dispositif la sécurisation du nettoyage des cabines comme des équipements et lots embarqués pour la restauration des passagers.

### **III.6 Circulation dans les zones spéciales**

Règles particulières pour les entreprises ayant une activité commerciale en Zone réservée :

- Les entreprises doivent présenter à un poste d'inspection filtrage les biens et les produits qu'elle fait pénétrer en Zone Réservée.
- Elles doivent surveiller leurs locaux.
- Les entreprises ne doivent pas commercialiser de produits ou d'articles dont l'export est interdit dans les cabines des aéronefs.
- Elles doivent établir un programme de sûreté et un programme d'assurance qualité

Obligations des personnes physiques accédant à la zone réservée :

- Toute personne voulant pénétrer dans la zone réservée doit se soumettre ainsi que leur bagage à l'Inspection Filtrage.
- Elle doit se soumettre au contrôle des accès et être en mesure de présenter un document attestant de leur identité.
- Les personnes ne doivent pas entraver ni neutraliser le fonctionnement normal des dispositifs de contrôle d'accès.
- Les agents de sûreté ne doivent pas faciliter l'entrée en Zone Réservée de personnes dépourvues des autorisations nécessaires.

Circulation et autorisation d'accès des véhicules en Zone réservée. Pour accéder et circuler dans la zone réservée, les véhicules doivent :

- Disposer d'une autorisation d'accès.
- Fixer une contremarque ainsi que le logo de l'entreprise.
- Tenir à jour la liste des véhicules autorisés.

### **Exemple : l'accès aux zones réservées de l'aérodrome à Roissy**

Dans les aéroports, l'inspection- filtrage des personnels a été généralisée sur l'ensemble des aéroports les plus importants. Parallèlement à la réduction du nombre des points d'entrée, les exploitants se sont vu imposer, dans un premier temps, de procéder à un contrôle manuel des titres d'accès. À Roissy- CDG et Orly, un renouvellement complet des titres d'accès a été effectué au premier trimestre de l'année 2002. Une opération qui a permis de diminuer leur nombre de 15% environ. Portant un hologramme, les nouveaux badges s'avèrent plus difficilement falsifiables. À la demande des pouvoirs publics, ADP installe des équipements permettant un contrôle systématique des badges (dates, zones de validité, photo du titulaire), *via* l'interrogation d'un fichier central de gestion des titres d'accès.



**ANNEXE 3**

**ELEMENTS DE MISE EN ŒUVRE**

**DE**

**L'INSPECTION FILTRAGE**

## **La mise en œuvre de l'inspection-filtrage**

L'inspection/filtrage des passagers et de leurs bagages à main constitue un élément essentiel des mesures de protection préconisées par l'OACI. Cette mesure a fait l'objet de nombreuses résolutions de l'Assemblée, résolutions et décisions du conseil, documents techniques, réunion et séminaires. Nous en faisons ici une synthèse détaillée.

### **A3.1 Les moyens matériels de sa mise en œuvre**

L'inspection/filtrage des passagers et de leurs bagages peut être réalisée au moyen de dispositifs de détection des métaux d'appareils de radioscopie et d'autres appareils, par la fouille manuelle ou par une combinaison de ces méthodes. L'expérience a montré que pour renforcer la facilitation et réduire le nombre de passagers et le volume de bagage soumis à la fouille, il faut recourir systématiquement à l'emploi de dispositifs d'inspections/filtrage. Au besoin, il faudrait augmenter le nombre de postes d'inspection.

Les procédures d'inspection/filtrage doivent être appliquées à la totalité des vols internationaux et aux vols nationaux qui y sont connectées. Certains Etats estiment, forts de l'expérience qu'ils ont acquise ; qu'elles doivent également être appliquée aux vols intérieurs ; c'est à l'autorité compétente de sûreté d'en décider en fonction de son évaluation de la menace existante.

La première occasion d'effectuer l'inspection /filtrage des passagers et des bagages se présente en général lorsque le passager arrive au comptoir de l'exploitant pour faire enregistrer ses bagages ou pour acheter un billet immédiatement avant un vol. C'est à ce moment que l'ont peut avoir recours pour la première fois au filtrage ou à l'observation, par l'emploi de procédures comme l'application de méthodes conçues pour identifier des personnes ou des bagages en vue d'une vérification spéciale. Cela peut donner lieu dans certains cas à des vérifications d'identité et à l'isolement au comptoir d'enregistrement des bagages transportés dans les soutes, en vue d'un contrôle spécial. On devrait aussi poser des questions à certains passagers pour s'assurer qu'ils ont préparé eux-mêmes leurs bagages enregistrés transportés dans les soutes. Le personnel affecté au poste d'inspection /filtrage des passagers devra donc être alerté ou recevoir un signal préalable pour être averti des personnes qui devront faire l'objet d'une vérification spéciale. Ce signal pourra être donné en accompagnant l'intéressé, en adressant au personnel du poste de contrôle un avertissement préalable, ou en inscrivant un numéro de code sur le billet ou la carte d'embarquement du passager.

### **A3.2 Les règles mises en pratique**

On peut citer un certain nombre de règles de base. La première règle de base est que tous les bagages à main doivent faire l'objet d'une inspection /filtrage avant que les passagers soient autorisés à accéder à bord d'un aéronef ou à une zone stérile.

De nombreux Etats ont établi des contrôles de sûreté pour les équipages et toute personne ayant à pénétrer dans un aéronef.

Une règle générale est que le passage doit être interdit à toute personne qui refuse de se soumettre à l'inspection/filtrage avant d'embarquer ou de monter à bord d'un aéronef.

Les personnes à qui le passage est interdit pour avoir refusé de se laisser contrôler, ou pour quelques autres raisons de sûreté, sont en général renvoyées aux agents des services officiels de police. Tous les exploitants ayant un bureau à l'aéroport sont alors en général alertés en conséquence, pour le cas où le passager décide de voyager par une autre compagnie.

Les exploitants devraient être autorisés à refuser de transporter tout passager qui, de leur avis, présente un danger potentiel pour la sécurité de l'aéronef.

Il est interdit aux passagers de se présenter au poste d'inspection/filtrage en tenant dans leurs mains des articles métalliques et ils sont obligés de déposer sur une table tout objet métallique extérieur à leur personne (clés, briquet, coupe-ongles, objets emballés dans une feuille d'aluminium, comme des cigarettes, etc.) avant de passer au contrôle.

Si la quantité de métal sur la personne d'un passager dépasse le niveau prédéterminé, une vérification s'impose. L'intéressé ne pourra être autorisé à traverser le poste de contrôle qu'après s'être plié à des vérifications supplémentaires et avoir fait vérifier tous les articles qu'il tenait en main.

Les personnes pour lesquelles le processus normal d'inspection/filtrage ne suffit pas doivent être fouillées manuellement.

Toute personne qui ne peut passer l'inspection/filtrage de façon satisfaisante se voit refuser l'embarquement.

La fouille corporelle des personnes doit se faire en privé. A défaut de salles spéciales, on utilise des paravents portatifs. Dans tous les cas, une personne ne devrait être fouillée que par une personne du même sexe qu'elle, et de préférence en la présence d'une tierce personne.

### **A3.3 Les cas particuliers :**

Les personnes à mobilité réduite doivent faire l'objet d'un contrôle. Il n'y a pas d'exception.

Les personnes auxquelles le processus normal de filtrage n'est pas applicable doivent être

fouillées. Le gestionnaire de l'aéroport peut mettre en place des chaises inertes pour permettre le passage des personnes à mobilité réduite. Sinon, les agents de sûreté doivent les aider à parcourir les distances.

Les porteurs de simulateur cardiaque ou pompe à insuline ne passent pas sous le portique et ne doivent pas être soumis au magnétomètre mais il faut qu'ils présentent un certificat médical et un carnet d'entretien. Dans ce cas, elles seront directement soumises à la fouille corporelle.

Les personnes faisant l'objet de procédures administratives ou judiciaires : expulsés, non admissibles, sous garde juridique doivent faire l'objet d'un contrôle particulier et si possible doivent être accompagnés par une escorte.

#### **A3.4 Les exemptions possibles :**

Les passagers auxquels l'Etat a accordé l'immunité diplomatique au titre de la Convention de Vienne devraient se présenter à l'inspection filtrage ainsi que les courriers diplomatiques. Toutefois, les valises diplomatiques scellées ne doivent pas être fouillées à l'inverse de tous les autres bagages de cabine en leur possession ; la réalisation d'un éventuel filtrage des valises diplomatiques doit être décidée à l'échelon le plus élevé de l'Etat concerné.

Le règlement Européen oblige au passage à l'inspection filtrage les diplomates et autres bénéficiaires de privilèges.

Les titulaires présentant une attestation de fonction peuvent être exemptés, il s'agit :

- du chef de l'Etat
- des chefs d'Etat et chefs de gouvernement étrangers en visite officielle.

Les arrangements concernant ces personnes doivent être communiqués au préalable afin que des dispositions spéciales soient prises. Les personnes devraient être escortées jusqu'à l'aéronef et ces exemptions sont strictement limitées.

#### **A3.5 Eléments particuliers :**

Le personnel d'inspection/filtrage doit toujours faire attention aux points suivants :

- a) bagages à main et autres articles qui semblent anormalement lourds. Il conviendrait d'effectuer une fouille minutieuse, et le cas échéant un examen radioscopique, pour s'assurer qu'aucune arme ou autre article dangereux ne soit présent ;

- b) doubles fonds dans les bagages à mains et conteneurs. Tous ces articles devraient être inspectés régulièrement au moyen d'une fouille manuelle et/ou d'un examen radioscopique, pour éviter ce danger potentiel ;
- c) calculatrice de poche, appareils photo et dispositifs semblables, qui pourraient être utilisés pour dissimuler des armes et/ou des explosifs. Ces dispositifs devraient être vérifiés de manière à s'assurer qu'ils fonctionnent. Les articles de ce genre qui semblent anormalement légers ou lourds devraient faire l'objet d'une fouille et aussi, s'il y a lieu, d'un examen radioscopique, pour se prémunir contre les armes et explosifs qui risquent d'y être dissimulés. Il convient de traiter avec une extrême prudence tout article de ce genre dont le cadre semble avoir été modifié, ou dans lequel il y a apparemment des interrupteurs, piles ou fils externes.
- d) armes ou dispositifs multiples peuvent être présents sur une personne ou dans des articles emportés à bord. Il est impératif que la découverte d'une seule arme n'interrompe pas le filtrage des personnes et des articles qu'elles emportent. Il faut alors poursuivre les recherches, qui permettront peut être de découvrir d'autres armes ou dispositifs. Les agents chargés de l'application de la loi peuvent décider de faire évacuer les lieux s'ils soupçonnent la présence d'un deuxième dispositif.

Tout article interdit trouvé sur la personne du passager ou dans ses bagages de cabine est soit saisi et confié à la compagnie aérienne pour être transporté en soute, soit confisqué par le service de sûreté et remis à l'autorité compétente. La saisie ou la confiscation est reportée sur le registre du poste d'inspection/filtrage. Dans le cas où le passager s'oppose à la saisie ou à la confiscation, il n'est pas autorisé à accéder en zone de sûreté à accès réglementé ou à l'aéronef, selon les cas. La fouille des bagages devrait être faite en présence de leur propriétaire.

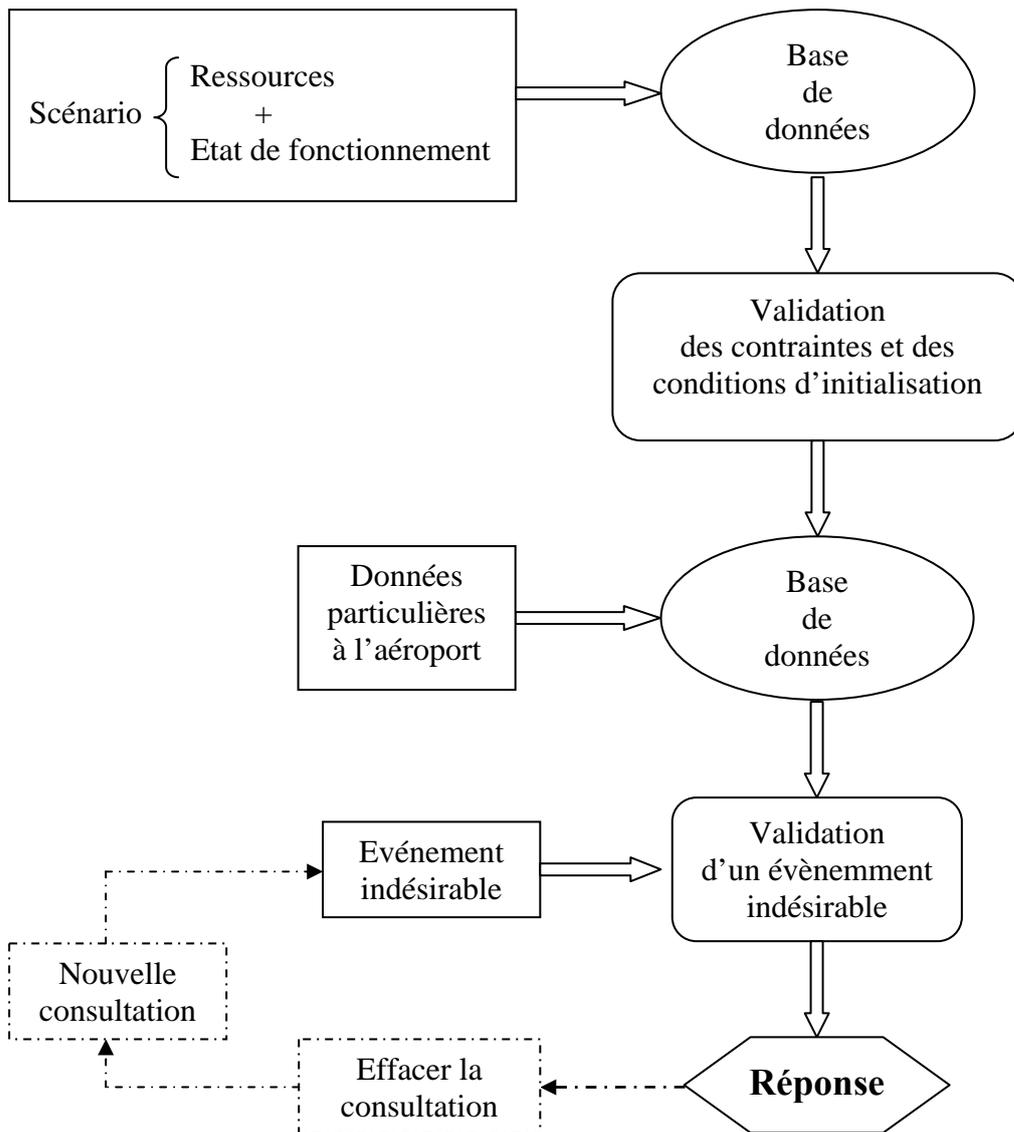
## **ANNEXE 4**

### **PROGRAMME D'ÉVALUATION LOGIQUE DE LA SÛRETÉ**

Le but de cette annexe est de décrire le programme réalisé pour mettre en œuvre la démarche d'analyse logique présentée au chapitre 4.

### A4.1 Structure du programme

La structure générale du programme peut être exprimée par le diagramme suivant :



**Figure A4.1** Schéma du programme d'analyse logique

Les étapes que le programme suit au cours de son exécution peuvent être résumées de la façon suivante :

- Introduction des ressources de la « cible » et de l'état de fonctionnement du système dans la base de données.
- Validation des conditions d'initialisation et des contraintes, et rajout à la base de données des contraintes qui sont vérifiées.
- Introduction dans la base de données de la structure de l'aéroport.
- Validation de l'évènement indésirable.
- Obtention de la réponse.
- Effacer consultation.
- Faire une nouvelle consultation en introduisant un autre évènement indésirable.

Pour tester un nouveau scénario il faut effacer la base de données temporaire et redémarrer le programme.

## **A4.2 Description des modules du programme**

Le programme est composé de différents modules. Chacun est responsable de l'exécution de l'une des étapes mentionnées ci-dessus. Une description plus détaillée de chaque module est présentée.

### **Module « contrôle » :**

Ce module est responsable du séquençement de l'exécution de tous les modules du programme. L'ordre d'appel est le suivant :

- Appel au module d'introduction des ressources et de l'état de fonctionnement du système.
- Appel au module de vérification des conditions d'initialisation.
- Appel au module de vérification des contraintes.
- Appel au module de définition de la structure de l'aéroport.
- Appel au module de décision.

Chaque module peut être composé des plusieurs sous-programmes. L'ordre d'exécution de ceux-ci est indifférent.

Dans Prolog, pour appeler un sous-programme on utilise la syntaxe suivante :

```
:-consult(archive).
```

Où « archive », est le nom du sous-programme enregistré avec la forme « archive.pl » dans le même dossier que le module de contrôle.

### **Module « introduction de ressources et d'état de fonctionnement du système » :**

Ce module permet à l'utilisateur d'introduire les données du scénario choisi. Il y a deux données différenciées : les données qui décrivent les ressources de la « cible », et celles qui décrivent l'état de fonctionnement du système.

#### **a) Ressources.**

Pour chaque ressource il y a une question. La réponse est simple, oui ou non. Si la réponse est positive, la ressource est ajoutée à la base de données et si la réponse est négative le programme passe à la question suivante.

Dans la base de données la ressource est ajoutée au fait « heco(ressource,1) » où ressource peut être un objet, par exemple, un passeport, ou bien une caractéristique, par exemple, vrai. L'autre terme représente la probabilité d'avoir cette ressource, ici elle vaut toujours 1. On a décidé à introduire ce terme pour assurer la compatibilité avec les termes qui seront introduits après.

#### **b) Etat de fonctionnement.**

Comme on l'a déjà vu dans la première partie du travail, ici il faut introduire les éléments défaillants du système. On indiquera aussi quelle est la probabilité de défaillance de ceux-ci.

On a décomposé chaque contrôle en actions élémentaires et le programme demandé si cette action de contrôle peut être défaillante ou non. Si la réponse est positive il faut introduire sa probabilité de défaillance.

### **Module « Vérification des conditions d'initialisation et des contraintes » :**

On a déjà remarqué que la vérification des conditions d'initialisation doit être faite en premier lieu parce qu'elle peut modifier la base de données temporaires. Néanmoins, le sous-programme pour vérifier les deux possède une structure similaire.

Toutes les contraintes ont été exprimées comme des règles. Chaque règle est composée par des atomes et chaque atome est aussi exprimé comme une autre règle et comme cela successivement jusqu'à considérer des règles exprimées par des termes élémentaires, qui dans notre cas sont les ressources de la « cible ». Chaque règle doit être vérifiée mais il y a deux chemins possibles pour faire ça.

Le premier chemin que le programme suit pour valider chaque règle correspond à essayer de trouver dans la base de données les atomes. Si les atomes qui composent la règle ne sont pas trouvés, le programme cherchera si l'action responsable du contrôle est défaillante. Si c'est le cas, la règle sera validée en lui associant une probabilité dont la valeur dépendra de la probabilité de défaillance du contrôle.

Il faut remarquer que chaque règle, qui pendant l'exécution d'un sous-programme est validée, sera ajoutée à la base de données. Mais un fois que l'exécution sera finie, elles seront effacées sauf si l'on les a ajoutées expressément avec la commande appropriée.

C'est pour cela que chaque contrainte finalement satisfaite est ajoutée à la base de données avec sa correspondante probabilité.

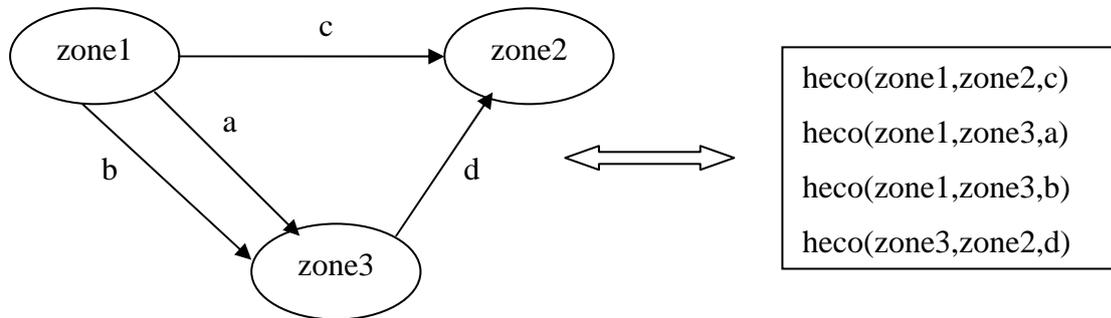
### **Module « introduction de la structure de l'aéroport » :**

Ce module est particulier à chaque aéroport mais la façon de l'exprimer, qui suit le schéma *heco(Zone1,Zone2,Contrainte)*, est similaire dans tous les aéroports.

Cet atome élémentaire veut dire que la *Zone1* et la *Zone2* sont connectées physiquement et pour y accéder dans ce sens (*Zone1* → *Zone2*) il faut satisfaire la *Contrainte*.

On peut trouver plusieurs connexions entre deux zones, par exemple, pour accéder à la salle d'embarquement international depuis le duty-free, on peut soit passer le contrôle d'émigration soit traverser une porte avec un badge d'autorisation.

Cette structure peut être assimilée dans un graphe où chaque sommet est une zone de l'aéroport et chaque arc représente le contrôle existant pour accéder de l'une à l'autre.



**Figure A4.2** Représentation graphique de la structure de l'aéroport

**Module « décision » :**

Ce module permet à l'utilisateur l'introduction de l'événement indésirable et de décider si c'est faisable ou pas. Mais il donnera aussi, dans le cas d'une réponse affirmative, quel est le chemin le plus probable et quelles contraintes ont été satisfaites. De toute façon, une liste avec toutes les possibilités sera aussi présentée.

L'utilisateur doit répondre à trois questions :

- Point de départ.
- Point d'arrivée.
- Quel est l'objet interdit que l'on veut trouver au point d'arrivée (l'option « aucun » est aussi proposée).

Pour prendre la décision, le programme suit les étapes suivantes :

**a) accessibilité :** Avec les contraintes satisfaites le programme connaît quels sont les arcs que la « cible » peut traverser et la probabilité associée à chacun d'eux. Ces arcs sont exprimés moyennant la clause passage\4 laquelle possède la syntaxe suivante :

```

passage(Zone1,Zone2,Probabilite,Contrainte) :-
    heco(Zone1,Zone2 ,Contrainte),
    heco(Contrainte,Probabilite).

```

Avec la clause passage\4 le programme détermine quel sont les arcs que l'on peut traverser et il ajoute à chacun la probabilité de la contrainte que l'on a satisfaite.

**b) Les chemins possibles** : Le sous-programme présente trois listes : une avec tous les chemins possibles, une autre avec la probabilité de chacun d'eux et la dernière avec les contraintes satisfaites dans chaque cas.

L'algorithme de recherche est construit pour trouver tous les chemins possibles du point de départ au point d'arrivé en évitant de passer deux fois par la même zone. De cette façon, on évite de rentrer dans une boucle.

```
aller(X,Y,Acumulate,[Y|Acumulate],Prob,Acumulate2,[C|Acumulate2]):-
```

```
    passage(X,Y,Prob,C).
```

```
aller(X,Y,Acumulate,Camino,Prob,Acumulate2,Contrainte):-
```

```
    X\=Y,
```

```
    passage(X,Z,P1,C1),
```

```
    not(member(Z,Acumulate)),
```

```
    aller(Z,Y,[Z|Acumulate],Camino,P2,[C1|Acumulate2],Contrainte),
```

```
    Prob is P1*P2.
```

Dans ces règles on a :

- la variable  $X$  est le point de départ.
- la variable  $Y$  est le point d'arrivée.
- la variable  $Z$  est utilisée pour garder des zones intermédiaires entre  $X$  et  $Y$ .
- $X \neq Y$  évite que le point de départ soit le même que celui d'arrivée.
- $[Acumulate]$  est une liste qui garde toutes les zones que l'on a déjà visitées.
- $not(member(Z,Acumulate))$  évite que le programme entre dans une boucle parce qu'elle ne laisse pas choisir une zone qui a été déjà visitée.
- $[Acumulate2]$  est utilisé pour garder dans une liste les contraintes que l'on a satisfait pour suivre le chemin.
- $Prob \text{ is } P1 * P2$ .  $P1$  est la probabilité de satisfaire la contrainte pour accéder à la zone  $Z$ .  $P2$  garde la probabilité jusqu'à ce moment.  $Prob$  est le produit entre  $P2$  et  $P1$  et est donc la probabilité de passage entre  $X$  et  $Y$ .

**c) criticité** : Une fois que l'on a toutes les possibilités (pour faire cela on utilise le prédicat prédéfini *findall*), il y a un sous-programme (prédicat *maximo*) qui détermine le chemin le plus critique. Pour cela le sous-programme sélectionne dans la liste où on a gardé les

probabilités des chemins faisables, la probabilité la plus haute. Le chemin qui correspond à cette probabilité est considéré comme étant le chemin le plus critique.

**d) Injection de menace** : L'utilisateur est supposé introduire la ressource interdite qui devait être présente au point d'arrivée. Comme on l'a déjà remarqué, la possibilité d'introduire *aucun* est acceptée.

**e) vulnérabilité** : Si la ressource interdite est trouvée dans les ressources finales du « cible » et s'il y a un chemin critique, la réponse du programme sera ;

*L'événement indésirable est faisable avec une probabilité = Probabilité.*

Dans le cas contraire, la réponse sera ;

*L'événement indésirable n'est pas faisable.*

**f) Réinitialisation** : Finalement le programme efface les clauses nécessaires pour pouvoir consulter une autre fois la faisabilité d'un événement dans le même scénario.

**ANNEXE 5**

**SCÉNARIOS UTILISÉS**

**POUR**

**L'ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ**

On donne ici les caractéristiques de différents scénarios soumis à l'analyse logique développée au chapitre 4, puis les résultats de cette analyse Les scénarios étudiés sont :

### **Scénario 1**

Le premier test effectué consiste à vérifier qu'un passager *normal*, c'est à dire, sans aucune intention malveillante et munis de toutes les pièces nécessaires, peut arriver sans encombres jusqu'à l'avion.

#### Description du scénario :

- Ressources initiales du passager : Titre de transport, documentation correcte et aucun objet interdit.
- Type de vol : Vol international.
- Etat de fonctionnement du système : Système sans aucune défaillance.
- Evénement : Le passager se déplace du hall vers l'embarquement sans aucun objet interdit.

#### Résultat du programme :

La réponse du programme est : *l'événement est réalisable avec une probabilité =1.*

Il fournit deux chemins avec la liste des contraintes satisfaites au passage aussi que la probabilité de chaque chemin.

Chemins = [[hall, duty\_free, salle\_embarquement, avion],  
[hall, duty\_free, salle\_embarquement, avion]]

Contraintes satisfaites = [[c2a, c3, c4], [c2b, c3, c4]]

Probabilités = [1, 1]

On vérifie que la seule différence entre les deux solutions concerne la première contrainte satisfaite. Chacune de ces deux contraintes représente un PIF, donc c'est normal que le passager puisse choisir entre les deux.

## Scénario 2

Ce scénario est destiné à vérifier que l'accès à l'avion est interdit à un passager qui n'a pas la documentation nécessaire s'il n'y a pas de défaillance dans le système.

### Description du scénario :

- Ressources initiales du passager : Titre de transport, aucune documentation et aucun objet interdit.
- Type de vol : Vol international.
- Etat de fonctionnement du système : Système sans aucune défaillance.
- Evénement : Le passager se déplace du hall vers l'embarquement sans aucun objet interdit.

### Résultat du programme :

La réponse du programme est : *l'événement indésirable n'est pas réalisable.*

Effectivement le passager ne peut pas accéder à l'avion et on vérifie dans la partie de l'évaluation qu'aucune contrainte a été satisfaite.

## Scénario 3

Dans ce scénario on vérifie que l'accès à l'avion est refusé à un passager ayant tous ses documents en règle mais portant un objet métallique interdit dans les vêtements.

### Description du scénario :

- Ressources initiales du passager : Titre de transport, documentation correcte et objet métallique interdit dans les vêtements.
- Type de vol : Vol international.
- Etat de fonctionnement du système : Système sans aucune défaillance.
- Evénement : Le passager se déplace du hall vers l'embarquement avec un objet métallique interdit dans les vêtements.

### Résultat du programme :

La réponse du programme est : *l'événement indésirable n'est pas réalisable.*

L'évaluation montre que les contraintes c2a et c2b ne sont pas satisfaites comme on l'y attendait.

Les deux scénarios suivants sont destinés à vérifier le fonctionnement en cascade du PIF.

#### **Scénario 4**

Ce scénario est similaire au scénario 3, mais on introduit des défaillances dans le deuxième PIF.

##### Description du scénario :

- Ressources initiales du passager : Titre de transport, documentation correcte et objet métallique interdit dans les vêtements.
- Type de vol : Vol international.
- Etat de fonctionnement du système :
  - défaillance dans le portique détecteur de métaux (PIFb), probabilité = 0.2.
- Evénement : Le passager se déplace du hall vers l'embarquement avec un objet métallique interdit dans les vêtements.

##### Résultat du programme :

La réponse du programme est : *l'événement indésirable est réalisable avec une probabilité = 0.2*. Un seul chemin est détecté :

Chemins= [[hall, duty\_free, salle\_embarquement, avion]]

Contraintes satisfaites= [[c2b, c3, c4]]

Probabilités= [0.2]

En effet, lorsqu'il y a une défaillance dans le portique, les autres deux contrôles ne sont pas réalisés. D'autre part, le PIF non défaillant ne permet pas le passage avec le couteau comme dans le scénario antérieur.

#### **Scénario 5**

Ce scénario est similaire au scénario 4, mais il y a une seule défaillance dans la fouille du passager dans le deuxième PIF.

##### Description du scénario :

- Ressources initiales du passager : Titre de transport, documentation correcte et objet métallique interdit dans les vêtements.
- Type de vol : Vol international.
- Etat de fonctionnement du système :
  - défaillance dans la fouille du passager (PIFb), probabilité = 0.05.

- Événement : Le passager se déplace du hall vers l'embarquement avec un objet métallique interdit dans les vêtements.

Résultat du programme :

La réponse du programme est : *l'événement indésirable est réalisable avec une probabilité = 0.05*. Un seul chemin est détecté.

Chemin= [[hall, duty\_free, salle\_embarquement, avion]]

Contraintes satisfaites= [[c2b, c3, c4]]

Probabilités= [0.05]

On a le même chemin que dans le scénario n° 4 mais, le portique et le détecteur manuel ayant déclenché l'alarme, la probabilité de passage au PIF est maintenant associée à la probabilité de défaillance dans la fouille.

### Scénario 6

Ici on considère un scénario présentant plusieurs défaillances. Par la suite, on introduira autre scénario légèrement modifié de façon à analyser la sensibilité des résultats de l'analyse à différents paramètres.

Description du scénario :

- Ressources initiales du passager : Titre de transport, documentation correcte et objet métallique interdit dans les vêtements.
- Type de vol : Vol international.
- Etat de fonctionnement du système :
  - défaillance dans le portique détecteur de métaux (PIFb), probabilité = 0.2.
  - défaillance dans la douane, probabilité = 0.4.
  - défaillance dans la porte anti-retour, probabilité = 0.8.
- Événement : Le passager se déplace du hall vers l'embarquement avec un objet métallique interdit dans les vêtements

Résultat du programme :

La réponse du programme est : *l'événement indésirable est réalisable avec une probabilité = 0.32*. Chemins détectés :

Chemins= [[hall, duty\_free, salle\_embarquement, avion],  
[hall, salle\_bagages, duty\_free, salle\_embarquement, avion]]  
Contraintes satisfaites= [[ c2b, c3, c4], [ c9, c7, c3, c4]]

Probabilités=[0.2, 0.32]

Donc le chemin le plus critique de probabilité 0.32 est :

[hall, salle\_bagages, duty\_free, salle\_embarquement, avion]

Pour ce chemin critique la porte anti-retour est traversée dans le sens interdit et sa probabilité de défaillance est très haute ( $P = 0.8$ ). S'il est possible de réduire cette probabilité, par exemple, en installant une porte anti-retour double avec un couloir pour une seule personne, quelles-en seront les conséquences ? Ceci nous amène au scénario suivant.

### Scénario 7

Ici on réduit la probabilité de défaillance de la porte anti-retour à 0.2.

#### Description du scénario :

- Ressources initiales du passager : Titre de transport, documentation correcte et objet métallique interdit dans les vêtements.
- Type de vol : Vol international.
- Etat de fonctionnement du système :
  - défaillance dans le portique détecteur de métaux (PIFb), probabilité = 0.2.
  - défaillance dans la douane, probabilité = 0.4.
  - défaillance dans la porte anti-retour, probabilité = 0.2.
- Événement : Le passager se déplace du hall vers l'embarquement avec un objet métallique interdit dans les vêtements

#### Résultat du programme :

La réponse du programme est : *l'événement indésirable est réalisable avec une probabilité = 0.2*. On retrouve les mêmes chemins que précédemment mais avec des probabilités associées différentes.

Chemins=[[hall, duty\_free, salle\_embarquement, avion],  
[hall, salle\_bagages, duty\_free, salle\_embarquement, avion]]  
Contraintes satisfaites= [[c2b, c3, c4],  
[c9, c7, c3, c4]]  
Probabilités=[0.2, 0.08]

Le chemin le plus critique n'est plus le même, c'est :

[hall, duty\_free, salle\_embarquement, avion],

de probabilité 0.2.

Le programme nous permet donc d'étudier la sensibilité des résultats de l'analyse à la probabilité de défaillance de la porte anti-retour.

## Scénario 8

Celui-ci considère un cas beaucoup plus complexe où deux « cibles » interagissent.

### Description « Cible 1 » :

- Ressources initiales du passager : documentation correcte et une arme blanche dans le bagage de soute.
- Type de vol : vol international.
- Etat de fonctionnement du système : Système sans aucune défaillance.

### Description « Cible 2 » :

- Ressources initiales du passager : documentation correcte et titre de transport.
- Type de vol : vol international.
- Etat de fonctionnement du système :
  - défaillance dans la porte anti-retour, probabilité = 0.8.
- Evénements :
  - a) Cible 1 arrive au salle d'arrivées et se déplace vers la salle d'embarquent où prend l'arme blanche.
  - b) Cible 2 se déplace du hall vers la salle d'embarquement.
  - c) Cible 1 transfère l'arme blanche à la Cible 2 qui va embarquer.

Dans ce cas on a trois événements à satisfaire, pour cela il faut ici exécuter trois fois le programme.

### Résultat du programme :

La réponse du programme est :

- a) *l'événement indésirable est réalisable avec une probabilité = 1.*

Ici il faut faire l'hypothèse que le bagage de soute peut comporter une arme blanche qui peut donc se retrouver dans la salle de livraison de bagages sans aucun problème.

- b) *l'événement indésirable est faisable avec une probabilité = 1.*

Chemin = [hall, duty\_free, salle\_bagages]

Contraintes satisfaites sont :

[[c2a, c6] , [c2b, c6]]

Ici le transfert du couteau est effectué, donc il faut l'ajouter aux ressources de « cible2 » avant de tester le dernier événement.

- c) *l'événement indésirable est réalisable avec une probabilité = 0.8.*

Chemin = [[salle\_bagages, duty\_free, salle\_embarquement, avion]]

Contraintes satisfaites sont :

[[c7, c3, c4]]

La probabilité finale de ces trois événements sera 0.8.

On peut extraire diverses conclusions de ce scénario :

- Comme dans le *scénario 6* la porte anti-retour représente un chaînon très faible, on pourrait donc penser à améliorer ce contrôle pour réduire sa probabilité de défaillance.
- Le duty-free représente une zone très délicate parce qu'il y a un mélange de flux. Ceci permet par exemple la faisabilité de l'événement *b* sans aucun problème.
- On pourrait penser à partager cette zone en deux parties mais il faudra vérifier l'impact sur les intérêts commerciaux.



