



Département Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux
Filière : Qualité, Hygiène, Sécurité, Environnement – Gestion des Risques Industriels
Etablissement National de la Navigation Aérienne
Mémoire de Projet de Fin d'Etude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en
QHSE– GRI

Maîtrise des risques des aires de stationnement saturées du réseau aéroportuaire Algérien

BENRABAH Hadjer & TAHMI Maha

Sous la direction de :

Dr. BENTAALLA-KACED Souad

Dr. BOUSBAI M'Hamed

M. CHAFAI Sid Ali

Mme. DHEGHLEF-CHAFAI Samia

Maître de conférences B à l'ENP

Maître de conférences B à l'ENP

Responsable FMP à l'ENNA

Contrôleur aérien à l'ENNA

Présenté et soutenu publiquement le 01 - 07 - 2019 devant le jury composé de :

<i>Président</i>	Pr. CHERGUI Abdelmalek	Professeur à l'ENP
<i>Examineur</i>	M. BENMOKHTAR Amine	Maitre-assistant A à l'ENP
<i>Promotrice</i>	Dr. BENTAALLA-KACED Souad	Maître de conférences B à l'ENP
<i>Promoteur</i>	Dr. BOUSBAI M'Hamed	Maître de conférences B à l'ENP
<i>Promoteur</i>	M. CHAFAI Sid Ali	Responsable FMP à l'ENNA
<i>Invité</i>	M. DJOUADI Belaid	Contrôleur aérien à l'ENNA



Département Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux
Filière : Qualité, Hygiène, Sécurité, Environnement – Gestion des Risques Industriels
Etablissement National de la Navigation Aérienne
Mémoire de Projet de Fin d'Etude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en
QHSE– GRI

Maîtrise des risques des aires de stationnement saturées du réseau aéroportuaire Algérien

BENRABAH Hadjer & TAHMI Maha

Sous la direction de :

Dr. BENTAALLA-KACED Souad

Dr. BOUSBAI M'Hamed

M. CHAFAI Sid Ali

Mme. DHEGHLEF-CHAFAI Samia

Maître de conférences B à l'ENP

Maître de conférences B à l'ENP

Responsable FMP à l'ENNA

Contrôleur aérien à l'ENNA

Présenté et soutenu publiquement le 01 - 07 - 2019 devant le jury composé de :

<i>Président</i>	Pr. CHERGUI Abdelmalek	Professeur à l'ENP
<i>Examineur</i>	M. BENMOKHTAR Amine	Maitre-assistant A à l'ENP
<i>Promotrice</i>	Dr. BENTAALLA-KACED Souad	Maître de conférences B à l'ENP
<i>Promoteur</i>	Dr. BOUSBAI M'Hamed	Maître de conférences B à l'ENP
<i>Promoteur</i>	M. CHAFAI Sid Ali	Responsable FMP à l'ENNA
<i>Invité</i>	M. DJOUADI Belaid	Contrôleur aérien à l'ENNA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A la mémoire de mon grand-père paternel et ma grand-mère maternelle, puisse Dieu vous avoir en sa sainte miséricorde et que ce travail soit une prière pour vos âmes ;

A ma grand-mère paternelle, ma « Yema », Je te dédie ce travail pour tes attentions particulières, tes prières et ton amour inconditionnel. Merci pour tout et que Dieu te donne bonne santé et longue vie parmi nous ;

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père ;

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, à toi maman. Tes prières et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études ;

A mes sœurs et mon frère, je vous dédie ce travail en témoignage de ma profonde affection et de mon attachement indéfectible ;

A ma tante « Ouahiba », je ne saurais exprimer ma profonde reconnaissance pour le soutien continu dont tu as toujours fait preuve. Tu m'as toujours encouragé, incité à faire de mon mieux, ton soutien m'a permis de réaliser le rêve tant attendu. Je te dédie ce travail avec mes vœux de réussite, de prospérité et de bonheur ;

A ma meilleure amie « Ahlem » en souvenir des moments heureux passés ensemble, avec mes vœux sincères de réussite, bonheur, santé et de prospérité ;

A ma très chère binôme « Maha » qui m'a accompagné durant mon chemin d'études supérieures, je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité ;

A tous les membres de ma famille et à tous mes amis, veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon affection.

BENRABAH Hadjer.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A la mémoire de ma grand-mère, qui a été toujours dans mon esprit et dans mon cœur, je te dédie aujourd'hui ma réussite. Que Dieu, le miséricordieux, t'accueille dans son éternel paradis ;

A mes grands-parents, que Dieu vous préserve santé et longue vie ;

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour et leurs prières tout au long de mes études. Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible ;

A mon frère Seifeddine et ma sœur Sabine pour toute la complicité et l'entente qui nous unissent ;

A mes meilleures amies, Oumnia et Ryma pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral ;

A mes chères amies en QHSE-GRI, Hynd, Lisa, Soumeya et Fadya pour tous nos moments partagés durant notre cycle d'études d'Ingénieur ;

Et enfin à ma chère binôme et amie avec qui j'ai partagé durant l'élaboration de ce travail, merci pour ta patience et tes efforts ;

A toute ma famille et mes amis pour leur soutien tout au long de mon parcours, Merci d'être toujours là pour moi.

TAHMI Maha.

Remerciements

Dans le cadre de nos études d'ingéniorat à l'Ecole Nationale Polytechnique (ENP), ce travail a été réalisé dans le contexte de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Qualité Hygiène, Sécurité, Environnement et Gestion des Risques Industriels (QHSE-GRI).

Notre sincère et profonde gratitude s'adresse à nos chers encadrants : Madame BENTAALLA-KACED. S et Monsieur BOUSBAL. M pour nous avoir accordé l'honneur de prendre part à notre projet, pour leur guidance, leur rigueur scientifique, et leur intérêt pour ce sujet, ainsi que pour leur aide et disponibilité au cours de l'élaboration de ce mémoire. Nous les remercions pour le soutien académique et moral pendant toute cette période

Nous souhaitons à cette occasion exprimer, aussi, notre gratitude à Monsieur le Professeur CHERGUI. A qui nous fait l'honneur de présider ce jury ainsi qu'aux membres du jury, qui ont accepté de juger notre travail en apportant leur touche finale : Monsieur BENMOKHTAR. A et Monsieur ATTOUCHI. M pour leurs conseils avisés.

Nous remercions également nos tuteurs anciens polytechniciens : Monsieur CHAFAI. S le responsable FMP au CCR (ENNA) ainsi que Madame DJEGHLEF-CHAFAI. S à la DSA (ENNA) pour leur aide généreuse et les conseils qu'ils nous donnaient lors de l'élaboration et de la rédaction du travail. Merci pour nous avoir donné la chance d'effectuer notre projet de fin d'étude au sein de l'ENNA. Nous devons, particulièrement, beaucoup à la compétence de Monsieur DJOUADI. B contrôleur au CCR. Son énergie et sa confiance ont été des éléments moteurs pour nous.

Nous voudrions remercier Monsieur SEMAR.K le Chef CCR (ENNA) pour son soutien et encouragement pendant toute la durée de notre stage de fin d'études et pour sa compréhension ainsi que toute l'équipe au sein du CCR ou l'aéroport d'Alger.

Nous souhaitons exprimer nos remerciements envers tous nos professeurs du département MRIE, pour les cours, les conférences, les conseils et encouragements pendant notre cycle, ainsi que pour la disponibilité et soutien qu'ils nous ont apporté tout au long de ces années. Nous espérons que l'aboutissement de ce projet de fin d'études récompensera une partie de leur travail.

Nous ne pouvons naturellement pas oublier nos camarades. Merci pour tous ces moments agréables et productifs que nous avons partagés. Et enfin, un grand merci à tous ceux qui nous ont

accompagné et donné de leur temps pour réaliser ce mémoire qui s'est révélée une expérience personnelle à la hauteur de ses promesses, à la fois passionnante et instructive.

ملخص

تواجه مراقبة الحركة الجوية في الوقت الحالي تكثفا متواصلا للحركة الجوية. لا تزال إشكالية العبء الذهني التي لوحظت لدى مراقبي الحركة الجوية تشكل مصدر قلق كبير يرجى منه تحسين مستوى سلامة الحركة الجوية. عملنا يهدف الى تقييم العواقب الناتجة عن ارهاق مراقبي الحركة الجوية من خلال تحليل اولي للمخاطر. استخدمنا أيضا طريقة عقدة الفراشة وقمنا بمحاكاة للأحداث الناتجة عن تحطم طائرة ببرنامج PHAST. لقد اقترحنا بيئة جديدة تتضمن تقديم نظام جديد للمساعدة في اختيار القرار وتحرير اجراء تنفيذي مبتكر لإدارة تشبع مواقف الطائرات.

كلمات مفتاحية: مراقبة الحركة الجوية، برنامج إدارة التدفق الجوي، توزيع الفسحات الزمنية، AIRProX

Abstract

Currently, air traffic control is facing a perpetual intensification of air traffic. In this situation, the problematic of the mental load observed among air traffic controllers remains a major concern to improve the level of safety of air traffic. Our work aims to evaluate the consequences of overworking air traffic controllers through a Preliminary Risk Analysis. We also used the Bow Tie method and a simulation of an aircraft crash with the PHAST software. We proposed a new control environment consisting of the introduction of a new automated decision support system and of the integration of an innovative procedure for the management of aircraft parking lot saturation.

Key words: air traffic control, air flow management software, slot allocation, AIRProX.

Résumé

Actuellement, le contrôle aérien fait face à une intensification perpétuelle du trafic aérien. Dans cette situation, la problématique de la charge mentale observée chez les contrôleurs aériens reste une préoccupation majeure pour améliorer le niveau de sécurité du trafic aérien.

Notre travail a pour objectif d'évaluer les conséquences engendrées par la surcharge de travail chez les contrôleurs aériens, à travers une Analyse Préliminaire de Risques. Nous avons également utilisé la méthode de Nœud Papillon et une simulation d'un crash d'aéronef avec le logiciel PHAST. Nous avons proposé un nouvel environnement de contrôle qui consiste en l'introduction d'un nouveau système automatisé d'aide à la décision et à l'intégration d'une procédure innovante de gestion de saturation des aires de stationnement.

Mots clés : contrôle aérien, logiciel de gestion des flux aérien, allocation des slots, AIRProX.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Glossaire

Introduction générale..... 16

Chapitre 1

1 Contexte général de l'étude..... 19

Introduction 19

1.1 Etablissement d'accueil 19

1.1.1 Etablissement National de Navigation Aérienne..... 19

1.1.2 Centre de Contrôle Régional 22

1.2 Le contrôle aérien 26

1.2.1 L'espace aérien Algérien : 26

1.2.2 Le contrôle du trafic aérien : 27

1.3 Généralités sur les aérodromes 29

1.4 La gestion des flux de trafic aérien (ATFM) 34

1.4.1 Eurocontrol..... 34

1.4.2 Objectifs de la gestion des flux de trafic aérien 34

1.4.3 La gestion et la régulation des flux de trafic aérien en Europe 35

1.5 Evolution du trafic aérien 36

Conclusion 39

Chapitre 2

2 Charge mentale de travail 41

Introduction 41

2.1 Contrôleurs aériens En-Route..... 41

2.1.1 Les tâches des contrôleurs En-Route et les outils utilisés..... 41

2.1.2 Principales caractéristiques de la tâche du contrôleur En-Route 45

2.2 Charge mentale chez contrôleurs aérien En-Route..... 48

2.2.1 Définition de la charge mentale 48

2.2.2 L'évaluation de la charge mentale chez les contrôleurs aériens 50

2.2.3 Synthèse et Interprétation..... 58

2.3 Conclusion 59

Chapitre 3

3	Analyse de risques liés au contrôle aérien, Résultats et Simulation des phénomènes dangereux	61
	Introduction	61
3.1	Les méthodes utilisées	61
3.1.1	Analyse préliminaire de risques	61
3.1.2	Le Nœud Papillon.....	65
3.2	Application des méthodes et résultats	70
3.2.1	Analyse préliminaire de risques	70
3.2.2	Nœud Papillon.....	73
3.3	Simulation de scénario.....	75
	Conclusion	82

Chapitre 4

4	Maitrise des risques.....	84
	Introduction	84
4.1	Notions sur automatisation	84
4.1.1	Les structures de coopérations homme machine.....	84
4.1.2	Allocation des fonctions.....	86
4.1.3	Les niveaux d'automatisation des systèmes informatisés	86
4.2	Détermination de la tâche à automatiser.....	87
4.3	Réalisation d'un logiciel pour la gestion des flux	89
4.3.1	Outils informatiques utilisés.....	89
4.3.2	Présentation du logiciel TSA et de son algorithme	89
4.3.3	Algorithme	90
4.3.4	Interface.....	94
4.3.5	Les bénéfices apportés par le logiciel TSA	96
4.3.6	Perspectives	96
4.4	Etablir une procédure organisationnelle	97
4.4.1	La norme ISO 10005	97
4.4.2	Procédure élaborée	97
	Conclusion	101
	Conclusion et recommandations	102
	Références bibliographiques	104
	Annexes.....	108
	Annexe 1 : Retour d'expérience	108

Annexe 2 : Liste des aérodromes algériens et leurs nombres de postes de stationnement.....	112
Annexe 3 : Plan de vol.....	113
Annexe 4 : Calcul des niveaux de risque.....	115

Liste des tableaux

TABLEAU 1-1: DIFFERENCES ENTRE LES AIRES DE STATIONNEMENT ET LES AIRES DE CIRCULATION	32
TABLEAU 2-1: LES DIFFÉRENTS INDICATEURS OCULOMÉTRIQUES SELON LE NIVEAU DE CHARGE MENTALE CHEZ LES CONTRÔLEURS AÉRIENS (PIERRE-VINCENT, 2011).....	51
TABLEAU 2-2 : NIVEAUX DE GRAVITÉ SELON LA COMMISSION LOCALE DE SÉCURITÉ.....	52
TABLEAU 2-3: POURCENTAGE DE PERTE DE SÉCURITÉ SELON CAROLINE MARTIN, 2013	53
TABLEAU 2-4: RÉSULTATS RELATIFS À L'ÉVALUATION DES PERFORMANCES.....	57
TABLEAU 3-1: PROTOTYPE D'UN TABLEAU D'APR DANS LE DOMAINE AÉRONAUTIQUE (MAZOUNI, 2003)	61
TABLEAU 3-2 : TABLEAU DE PROBABILITÉ D'UN RISQUE DE SÉCURITÉ (OACI, 2013).....	63
TABLEAU 3-3: TABLEAU DE GRAVITÉ DES RISQUES DE SÉCURITÉ (OACI, 2013).....	64
TABLEAU 3-4: MATRICE D'ÉVALUATION D'UN RISQUE DE SÉCURITÉ	64
TABLEAU 3-5: ECHELLE DE PROBABILITÉ – NŒUD PAPILLON. (SOURCE : VERITAS, 2018)	67
TABLEAU 3-6: EVALUATION DE LA GRAVITÉ - NOEUD PAPILLON.....	68
TABLEAU 3-7 : ECHELLE DE CINÉTIQUE.....	68
TABLEAU 3-8: NIVEAUX DE TOLÉRABILITÉ DE RISQUE	68
TABLEAU 3-9: TABLEAU DE L'APR	71
TABLEAU 3-10: NOMBRE D'OCCURRENCE DES AIRPROX (SOURCE : ENNA)	73
TABLEAU 3-11: QUANTIFICATION DE LA CRITICITÉ D'UN AIR'PROX.....	73
TABLEAU 4-1: NIVEAUX D' AUTOMATISATION (ENDSLEY & KABER, 1999)	87
TABLEAU 4-2: PROCÉDURE DE GESTION DE LA SATURATION DES AIRES DE STATIONNEMENT.....	98
TABLEAU 0-1: LISTE DES AÉRODROMES ALGÉRIENS ET LEURS NOMBRES DE POSTES DE STATIONNEMENT	112
TABLEAU 0-2 : CALCUL DES NIVEAUX DE RISQUE	115

Liste des figures

FIGURE 1-1: ORGANIGRAMME DE L'ENNA	21
FIGURE 1-2: IMAGE SATELLITE DU CCR (SOURCE : GOOGLE MAPS).....	23
FIGURE 1-3: DISPOSITION DE LA SALLE DE CONTROLE.....	24
FIGURE 1-4: POSTES DANS LA SALLE DE CONTROLE	24
FIGURE 1-5: ORGANIGRAMME DU CCR.....	26
FIGURE 1-6: SECTORISATION DE L'ESPACE AERIEN ALGERIEN.....	27
FIGURE 1-7: PHASES DE CONTROLE AERIEN (MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE).....	28
FIGURE 1-8: NORME DE SEPARATION ENTRE AERONEFS EN VOL (RCA, 2008).....	29
FIGURE 1-9: SCHEMA DE L'AIRE D'ATTERRISSAGE (ITAC, 2003).....	31
FIGURE 1-10: ELEMENTS CONSTITUTIFS DE L'AIRE DE MOUVEMENT (ITAC, 2003)	32
FIGURE 1-11: STATIONNEMENT DE DIX AERONEFS DANS LES TAXIWAYS - AEROPORT D'ALGER....	33
FIGURE 1-12: STATIONNEMENT DE TROIS AERONEFS DANS LES TAXIWAYS - AEROPORT D'ALGER .	33
FIGURE 1-13: EVOLUTION DE TRAFIC AERIEN EN ROUTE EN ALGERIE (NOMBRE REELLE)	36
FIGURE 1-14: EVOLUTION DE TRAFIC AERIEN EN ROUTE EN ALGERIE (VARIATION REELLE)	37
FIGURE 1-15: EVOLUTION DE TRAFIC AERIEN AERODROMES EN ALGERIE (NOMBRE REELLE)	37
FIGURE 1-16: EVOLUTION DE TRAFIC AERIEN AERODROMES EN ALGERIE (VARIATION REELLE)....	38
FIGURE 2-1 : CYCLE DE LA TACHE DE CONTROLE AERIEN (CAROLINE MARTIN,2013).....	42
FIGURE 2-2: IMAGE RADAR.....	44
FIGURE 2-3: STRIP.....	44
FIGURE 2-4: CONTROLEUR AERIEN UTILISANT UN RADIOTELEPHONE (DEVENIR-AVIATEUR.FR)	45
FIGURE 2-5: ARCHITECTURE DE MODELES CENTRES SUR LES EXIGENCES DE LA TACHE DE CONTROLE (HILBURN ET JORNA 2001).....	49
FIGURE 2-6: ARCHITECTURE DE MODELES CENTRES SUR LA STRATEGIE OPERATOIRE DES CONTROLEURS AERIENS	50
FIGURE 2-7: ECHELLE D'EVALUATION COMPLETEE PAR LES PARTICIPANTS (CAROLINE MARTIN, 2013)	52
FIGURE 2-8: RESULTATS DE L'EVALUATION (CAROLINE MARTIN, 2013)	53
FIGURE 2-9: REPARTITION DU NOMBRE MOYEN DE FIXATIONS OCULAIRES REPARTIES ENTRE LES DIFFERENTES CATEGORIES D'AERONEFS.....	54
FIGURE 2-10: DUREE MOYENNE DES FIXATIONS OCULAIRES EN FONCTION DE LA CATEGORIE D'AERONEFS FAISANT L'OBJET DES FIXATIONS OCULAIRES (MILLISECONDES)	54

FIGURE 2-11: MAXIMUM DE LA DILATATION PUPILLAIRE MOYENNE EN FONCTION DE LA CATEGORIE D'AERONEFS VISEE PAR LES FIXATIONS OCULAIRES (SCORE Z).....	55
FIGURE 2-12 : EFFECTIF DE PARTICIPANTS PAR VALEUR DE L'ECHELLE D'EVALUATION SUBJECTIVE DU NIVEAU DE RESSOURCES COGNITIVES MOBILISEES AU COURS DE L'EXECUTION DE LA TACHE DE CONTROLE EXPERIMENTALE.....	56
FIGURE 2-13 : NOMBRE MOYEN DE COMMUNICATIONS PASSEES PAR MINUTE	57
FIGURE 2-14 : VALEUR MOYENNE DE MATURING-TIME DES PARTICIPANTS (MILLISECONDES)	58
FIGURE 3-1: SCHEMA EXPLIQUANT LA LOGIQUE DE L'APR (GBM ET QUALITE).....	62
FIGURE 3-2: PRIORITE D'ACTION SELON L'INDICE DE SECURITE	65
FIGURE 3-3: DEMARCHE POUR L'ELABORATION D'UN ARBRE DES DEFAILLANCES. SOURCE (INERIS - DRA, 2006).....	66
FIGURE 3-4: ARBORESCENCE DES NIVEAUX DE RISQUE - NOEUD PAPILLON	69
FIGURE 3-5: ARBRE DES DEFAILLANCES.....	74
FIGURE 3-6: ARBRES DES EVENEMENTS	75
FIGURE 3-7: CONCENTRATION DU FUEL PAR RAPPORT AU TEMPS - DISPERSION	77
FIGURE 3-8: LES CONTOURS DES TRACES DE CONCENTRATION – DISPERSION	77
FIGURE 3-9: LE FLUX RADIATIF EN FONCTION DE LA DISTANCE CIBLE/FRONT DE FLAMME - FEU DE NAPPE TARDIF	78
FIGURE 3-10: LES CONTOURS NIVEAUX DE FLUX RADIATIF - FEU DE NAPPE TARDIF.....	79
FIGURE 3-11: NIVEAU DE SURPRESSION PAR RAPPORT A LA DISTANCE - EXPLOSION TARDIVE	80
FIGURE 3-12: CONTOURS DES NIVEAUX DE SURPRESSION PAR RAPPORT A LA DISTANCE - EXPLOSION TARDIVE.....	80
FIGURE 4-1: STRUCTURE DE COOPERATION VERTICALE (MILLOT, 1999).....	84
FIGURE 4-2: STRUCTURE HORIZONTALE DE COOPERATION (MILLOT, 1999).....	85
FIGURE 4-3: LE CIRCUIT DE COMMUNICATION POUR UNE MISE EN ROUTE	88
FIGURE 4-4: LE CIRCUIT DE COMMUNICATION POUR UNE MISE EN ROUTE DANS LE CAS D'UNE SATURATION PARKING	88
FIGURE 4-5: LOGIGRAMME DU TRAITEMENT D'UN SEUL VOL	92
FIGURE 4-6: LOGIGRAMME DU TRAITEMENT D'UNE LISTE DE VOL	93
FIGURE 4-7: INTERFACE DE LOGICIEL TSA : SLOT ALLOCATION LIST.....	94
FIGURE 4-8: INTERFACE DE LOGICIEL TSA : SLOT ALLOCATION LIST TRIEE PAR AERODROME	95
FIGURE 4-9: INTERFACE DE TSA : SAUVEGARDE DANS UN FICHIER EXCEL	95
FIGURE 0-1: RECONSTRUCTION DE L'ACCIDENT AERIEN D'ÜBERLINGEN (SOURCE : 1001 CRASH)	108
FIGURE 0-2: MCDONNELL DOUGLAS DC-9 (SOURCE : NTSB).....	110
FIGURE 0-3: PLAN DE VOL	114

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
ATM	Air Traffic Management
ATS	Air Traffic Service
APR	Analyse Préliminaire de Risques
CFMU	Central Flow Management Unit
CFMU	Central Flow Management Unit
CCR	Centre de Contrôle Régional
DAF	Data Analysis Facilities
DNV	Det Norske Veritas
DMC	Détachement Militaire De Coordination
ENESA	Entreprise Nationale d'Exploitation et de Sécurité Aéronautique
EOBT	Estimated Off Block Time
ETA	Estimated Time of Arrival
ENNA	Etablissement National de Navigation Aérienne
ENEMA	Etablissement National pour l'Exploitation Météorologique et Aéronautique
ECMA	European Computer Manufacturers Association
FDO	Flight Data Operator
FMP	Flow Management Positions
IDE	Integrated Development Environment
ONAM	Office National de la Navigation Aérienne et de la Météorologie
NOTAM	Notice To Airmen
OGSA	Entreprise de Gestion et de Sécurité Aéroportuaire
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
PHAST	Process Hazard Analysis Software Tool
SESAR	Single European Sky ATM Research
SMO	Single Man Operations
TSA	Tactic Slot Allocation
VFR	Visual Flight Rules

Glossaire

.NET : Un système où on peut utiliser plusieurs langages de programmation comme le C#, VB.net, F#, C++/CLI et autres. Il se compose d'un langage commun d'exécution (CLR) pour gérer l'exécution des programmes et une bibliothèque de classe (objets).

Aérodrome : Surface définie sur terre ou sur l'eau (comprenant, éventuellement, bâtiments, installations et matériel), destinée à être utilisée, en totalité ou en partie, pour l'arrivée, le départ et les évolutions des aéronefs à la surface.

Aéronef : Tout appareil qui peut se soutenir dans l'atmosphère grâce à des réactions de l'air autres que les réactions de l'air sur la surface de la terre.

AIRPROX : Expression conventionnelle désignant la proximité d'aéronefs dans un compte rendu d'incident de la circulation aérienne.

Cap : Orientation de l'axe longitudinal d'un aéronef, généralement exprimée en degrés par rapport au nord (vrai, magnétique, compas ou grille).

Centre de contrôle régional : Organisme chargé d'assurer le service du contrôle de la circulation aérienne pour les vols contrôlés dans les régions de contrôle relevant de son autorité.

Couloir aérien : Une voie ou route de communication aérienne.

Convention de Chicago : Convention relative à l'aviation civile internationale signée le 7 décembre 1944.

Conflit aérien : Une situation spécifique, pendant laquelle deux aéronefs ou plus sont en positions trop proches.

Croisières : La croisière est la phase du vol située entre le décollage et l'atterrissage. Elle inclut la montée vers l'altitude de croisière et la descente en vue de l'atterrissage.

Espace aérien contrôlé : Espace aérien de dimensions définies à l'intérieur duquel le service du contrôle de la circulation aérienne est assuré selon la classification des espaces aériens.

NOTAM : Avis diffusé par télécommunication et donnant, sur l'établissement, l'état ou la modification d'une installation, d'un service, d'une procédure aéronautique, ou d'un danger pour la navigation aérienne, des renseignements qu'il est essentiel de communiquer à temps au personnel chargé des opérations aériennes.

Redevances aéroportuaires : Les taxes aériennes ou taxes aéroportuaires sont des sommes d'argent prélevées par les compagnies aériennes sur chaque billet d'aéronef. Elles sont utilisées pour couvrir les frais d'entretien des aéroports ou encore la sécurité des pistes.

Réseau aéroportuaire : ensemble d'aéroports.

Route aérienne : Projection à la surface de la terre de la trajectoire d'un aéronef, trajectoire dont l'orientation, en un point quelconque, est généralement exprimée en degrés par rapport au nord (vrai, magnétique ou grille).

Système de gestion du trafic aérien : Système assurant la gestion du trafic aérien (ATM) grâce à l'intégration concertée d'êtres humains, d'informations, de technologies, d'installations et de services en s'appuyant sur des moyens de communication, de navigation et de surveillance au sol, à bord et/ou dans l'espace.

Slot horaire : ou créneau horaire, c'est l'heure de décollage calculée par le service ATFM et qui doit être respectée par l'opérateur aérien.

Introduction générale

La sécurité est le premier objectif du contrôle aérien. En effet, le moindre dysfonctionnement peut provoquer des risques d'une gravité élevée. L'expertise humaine y est essentielle car l'opérateur est le facteur principal pour assurer la sécurité du système. Les contrôleurs aériens ont la lourde responsabilité de maintenir un niveau de sécurité irréprochable tout en veillant à la fluidité du trafic aérien. Ils doivent tout mettre en œuvre pour éviter les risques de collision entre les aéronefs, en minimisant les répercussions sur les durées des vols aériens et les consommations en carburant.

En Algérie, après l'ouverture de l'économie nationale, la plupart des secteurs d'activité, y compris le secteur du transport aérien, sont assujettis à la démonopolisation et à l'entrée de nouveaux opérateurs privés. Cette ouverture du ciel Algérien et l'augmentation de la flotte mondiale ont fait que le nombre de déplacements d'aéronefs évoluant dans l'espace aérien algérien ne cesse d'augmenter, rendant malheureusement la saturation du réseau aéroportuaire une tendance nationale et engendrant une hausse des sollicitations pour le contrôle aérien. De fait, une telle évolution soulève le problème de la capacité du système de contrôle aérien actuel pour faire face à une telle augmentation. Le système actuel ne se confronterait-il pas à une saturation susceptible de réduire le niveau de sécurité associé aux déplacements des aéronefs dans l'espace aérien ? Ce constat est actuellement redouté par l'Etablissement National de Navigation Aérienne (ENNA).

Notre contribution, dans ce contexte d'augmentation de la densité de trafic aérien et de saturation aéroportuaire, consiste, en premier lieu à intégrer dans le système de contrôle aérien actuel, dont le fonctionnement dépend essentiellement de l'activité des contrôleurs aériens comme facteur humain, un nouveau logiciel d'aide à la décision visant à limiter, à la fois, les sollicitations de l'opérateur et à gérer les flux de trafic aérien dans le réseau aéroportuaire Algérien. En deuxième lieu, notre contribution a pour tâche l'élaboration d'une procédure de régulation de flux de trafic aérien dans le cas d'une saturation d'une aire de stationnement dans un aéroport, dans le but d'améliorer et de maintenir le niveau de sécurité actuel.

Nous avons choisi de scinder ce mémoire en quatre chapitres.

Le premier chapitre présente l'organisme d'accueil et de l'activité du contrôle ainsi que la gestion des flux aériens. Il comporte également des généralités sur les aéroports. Le second chapitre introduit la notion de la gestion de la charge mentale de contrôleurs aériens, tandis que

le troisième est consacré à l'analyse des risques liés au contrôle aérien et à la simulation des phénomènes dangereux. Il est constitué d'une partie théorique sur l'APR et le nœud papillon puis son application et une simulation d'un impact d'aéronef à l'aide du logiciel PHAST. Enfin, le quatrième chapitre propose des moyens de maîtrise du risque et leurs élaborations.

CHAPITRE 1

Contexte général de l'étude

1 Contexte général de l'étude

Introduction

Pour bien entamer notre travail, nous allons présenter les organismes d'accueil notamment l'ENNA qui gère le domaine du transport aérien en Algérie. Plus particulièrement, nous allons introduire le Centre de Contrôle Régional où s'est principalement déroulée notre étude. Nous définirons le métier du contrôle aérien ainsi que quelques généralités sur les aérodromes. Pour clôturer, une mise au point s'impose à la fin du chapitre. Elle portera sur la coordination et la gestion de flux de trafic aérien que ce soit dans les aérodromes ou bien pendant le vol.

1.1 Etablissement d'accueil

1.1.1 Etablissement National de Navigation Aérienne

Historique :

Depuis l'indépendance, cinq organismes ont été chargés de la gestion, de l'exploitation et du développement de la navigation aérienne en Algérie : OGSA, ONAM, ENEMA, ENESA, ENNA.

De 1962 à 1968, l'Organisation de Gestion et de Sécurité Aéronautique (OGSA), organisme Algéro-Français, a géré l'ensemble des services d'Exploitation de l'Aviation Civile en Algérie.

Le 1 Janvier 1968, l'OGSA a été remplacée par l'Office de la Navigation Aérienne et de la Météorologie (ONAM). Ce dernier a été remplacé, en 1969, par l'Etablissement National pour l'Exploitation Météorologique et Aéronautique (ENEMA) qui a géré la navigation aérienne jusqu'à 1983.

En 1975, les activités de météorologie ont été transférées à l'Office National de Météorologie créé le 29 Avril 1975, sous forme d'Etablissement Public à caractère administratif.

Le décret N°83.311 du 07/05/1983 a réaménagé les structures de L'ENEMA et modifié sa dénomination pour devenir ENESA « Entreprise Nationale d'Exploitation et de Sécurité Aéronautique » avec statut d'entreprise nationale à caractère économique.

Afin de clarifier les attributions de l'ENESA, il a été procédé aux réaménagements de ses statuts ainsi qu'au changement de dénomination en « ENNA » par décret exécutif N° 91-149 du 18 mai 1991, Fig. 01.

L'ENNA, Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial (EPIC), sous tutelle du Ministère des Travaux Publics et des Transports, est dirigé par un directeur général et administré par un Conseil d'Administration. (ENNA, 2012)

Depuis l'indépendance, l'ENNA est passé de la gestion de 18 aérodromes à 36 aérodromes dont 11 internationaux, actuellement. Cet établissement se situe à Alger. 1, avenue de l'indépendance.

Missions :

Les principales missions de l'établissement sont :

- La garantie du service public de la sécurité de la navigation aérienne pour le compte et au nom de l'état ;
- La mise en œuvre de la politique nationale dans le domaine de la sécurité de la navigation aérienne en coordination avec les autorités concernées et institutions intéressées ;
- La veille au respect de la réglementation des procédures et des normes techniques relatives à la circulation en vol et au sol des aéronefs et à l'implantation des aérodromes et des installations relevant de sa mission ;
- La participation à l'élaboration des schémas directeurs et aux plans d'urgence des aérodromes. Elle établit, en coordination avec les autorités concernées, les plans de servitudes aéronautiques et radioélectriques et veille à leur application ;
- L'installation et la maintenance des moyens de télécommunication, de radionavigation, l'aide à l'atterrissage, des aides visuelles et des équipements d'annexes ;
- Le contrôle de la circulation aérienne pour l'ensemble des aéronefs évoluant dans son espace aérien qu'ils soient en survol, à l'arrivée sur les aérodromes, nationaux ou au départ de ces derniers ;
- La sécurité de la navigation aérienne dans l'espace aérien national ou relevant de la compétence de l'Algérie ;
- L'information aéronautique en vol et au sol et la diffusion des informations météorologiques nécessaire à la navigation aérienne ;
- Le service de sauvetage et de lutte contre incendies sur les plates formes aéroportuaires ;
- Le respect de la réglementation, procédures et normes techniques relatives à la circulation aérienne, à l'implantation des aérodromes, aux installations et équipements relevant de sa mission ;
- La Contribution à l'effort du développement en matière de recherches appliquées dans les techniques de la navigation aérienne ;

- La Concentration, la diffusion ou la retransmission, au plan international, des messages d'intérêt aéronautique ou météorologique.
- Le calibrage des moyens de communication de radionavigation et de surveillance au moyen de l'aéronef laboratoire.

Organisation :

La figure 1-1 représente l'organigramme de l'ENNA :

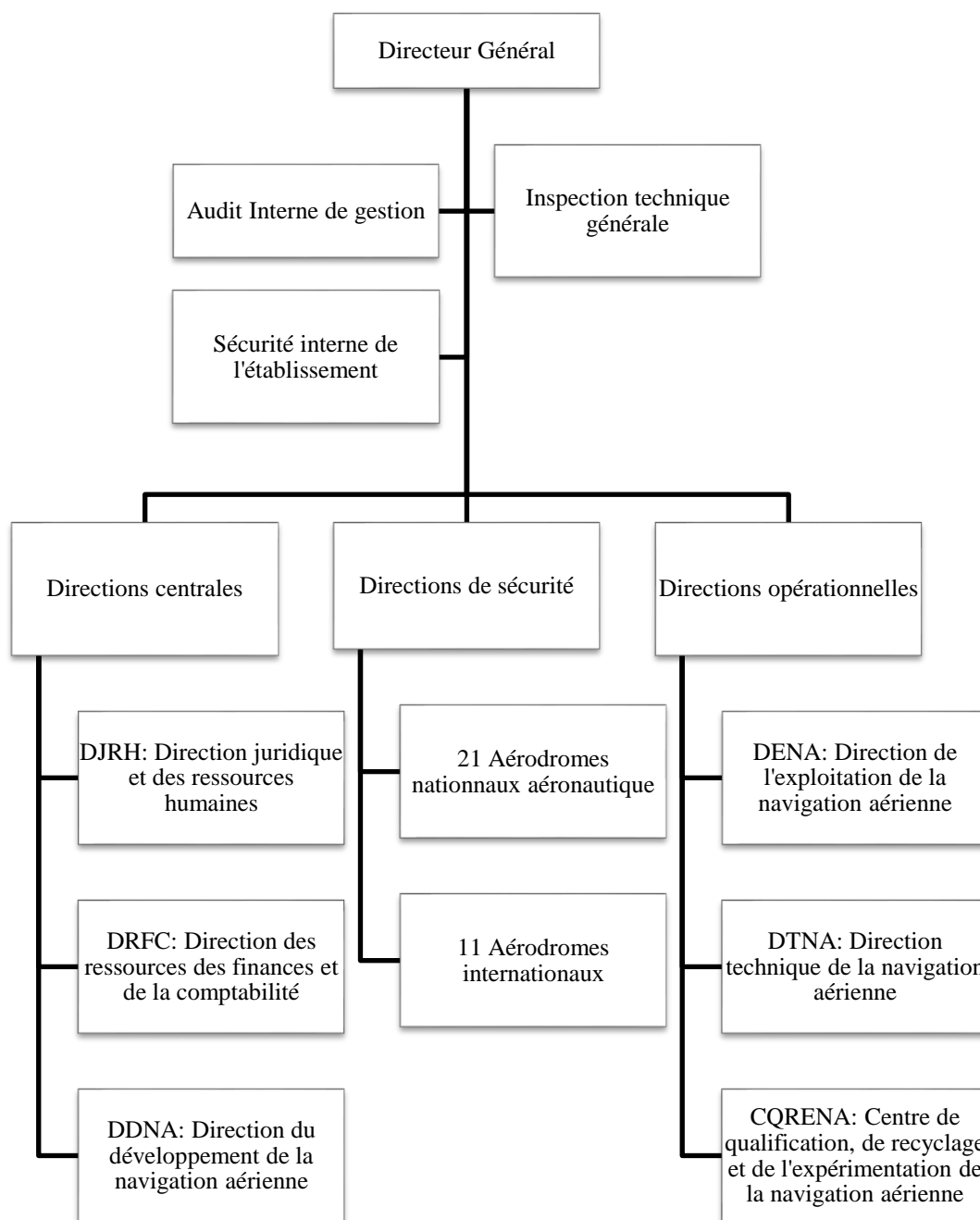


Figure 1-1: Organigramme de l'ENNA

1.1.2 Centre de Contrôle Régional

Dans le domaine du contrôle aérien, un Centre de Contrôle Régional (CCR), ou Area Control Center (ACC) en anglais, est un organisme chargé d'assurer le service du contrôle de la circulation aérienne pour les vols contrôlés dans les régions de contrôle relevant de son autorité (OACI, 2007)

Au sein de ce centre, l'espace aérien est divisé en secteurs et géré spécifiquement afin d'assurer la meilleure répartition du trafic aérien possible pour chaque contrôleur aérien. Cette division se fait en secteurs géographiques.

Chaque secteur est desservi par deux contrôleurs aériens, l'un a pour mission de transmettre les instructions aux pilotes (executive controller), l'autre s'occupe des coordinations téléphoniques avec les autres contrôleurs aériens ainsi que de la planification (planning controller - contrôleur organique). Ceci sera détaillé ultérieurement.

Il s'y trouve également des secteurs militaires ainsi que des postes dédiés à la gestion des flux de trafic aérien (Flow Management).

Ce site, inauguré en Décembre 2003, est le centre de contrôle le plus moderne au nord-africain. Cette modernisation de la navigation aérienne en Algérie a permis d'accroître la capacité en termes de trafic aérien et d'améliorer les conditions de sécurité des vols sur le territoire national et des pays limitrophe.

Le CCR d'Alger (Fig 1-2) est situé au Sud/Est de la ville d'Alger, précisément au Sud de l'aérodrome d'Alger.

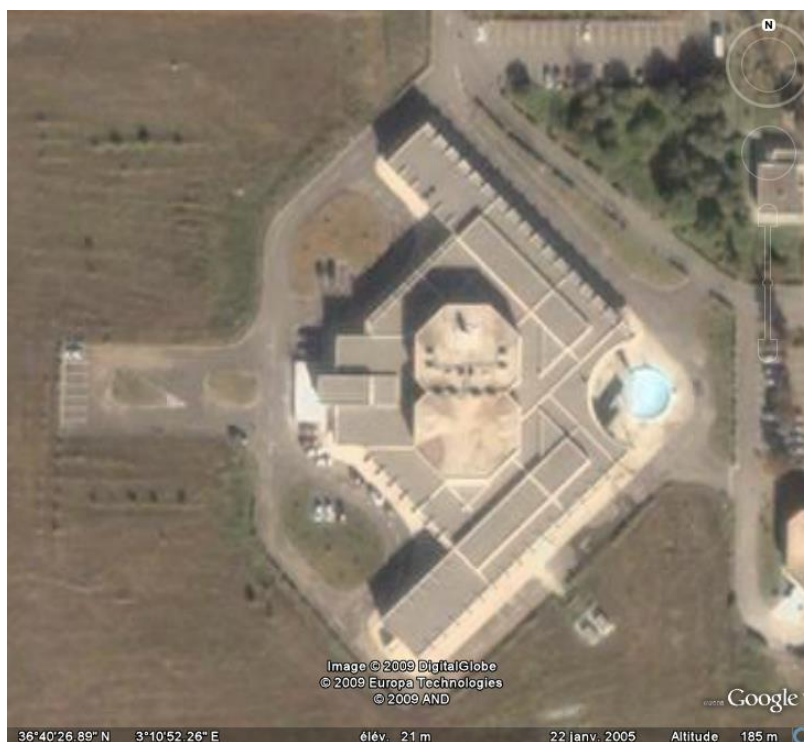


Figure 1-2: Image satellite du CCR (source : google maps)

La salle de contrôle (Fig 1-3) (Fig 1-4) comporte :

- 01 position superviseur (chef de quart)
- 07 positions de contrôle doublées pour chaque secteur :
 - TMA Alger AI/AS
 - TMA Oran
 - Nord Est
 - Sud Est
 - Sud Centre
 - Sud-Ouest
 - Sud Sud
- 03 positions FDO (Flight Data Operator)
- 02 positions "dirigeur" : Gestion des messages RSFTA
- 02 positions FMP
- 01 position DMC (détachement militaire de coordination)

Encadrement CCR

Effectif

- Un chef CCR
- Un adjoint chef CCR
- Un chef Service exploitation
- Deux ingénieurs C/A

Tâches (principales)

- Traitement des :
 - Incident ATS
 - Irrégularité opérationnelle
 - Infraction
 - Réclamation
- Mise à jour et élaboration des documents en salle de contrôle :
 - Lettre d'agrément
 - Manuel d'exploitation
 - Consignes locales
 - Carnet de suivi des contrôleurs aériens stagiaires...
- Elaboration du plan de formation et qualification des contrôleurs aériens

Moyens techniques

- Une salle de rejeu :
 - Rejeu de l'image RADAR
 - Deux (02) lecteurs de voies audio
 - Une position DAF (Data Analysis Facilities)

Organigramme CCR : (La page suivante)

La figure 1-5 présente l'organigramme du CCR :

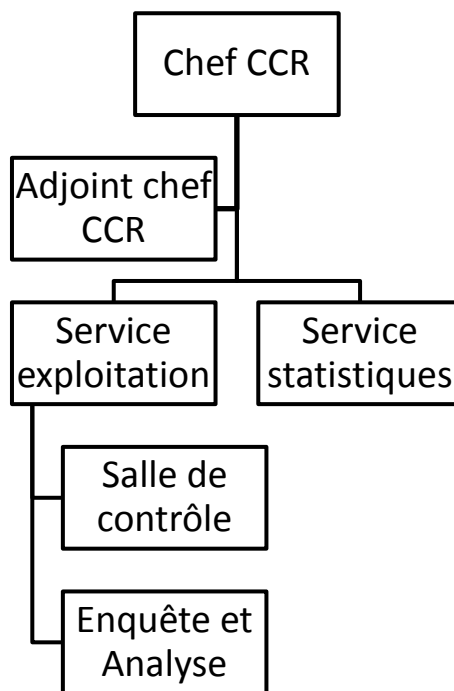


Figure 1-5: Organigramme du CCR

1.2 Le contrôle aérien

Cette partie est dédiée à la présentation du domaine du contrôle aérien. Elle porte, principalement, sur le fonctionnement actuel du contrôle aérien en Algérie. L'objectif d'une telle présentation est de décrire le contrôle aérien actuel.

1.2.1 L'espace aérien Algérien :

L'espace aérien est organisé pour fournir une sécurité optimale à tous les aéronefs qui y évoluent. Sa restructuration consiste à diviser l'espace global en plusieurs secteurs (D. Gianazza, 2004). Ces zones géographiques tri-dimensionnelles ont été définies afin de rendre possible le contrôle. En effet, l'espace aérien dans sa globalité, présentant un très grand nombre d'aéronefs, est divisé en secteurs pour répartir la charge de travail entre les contrôleurs aériens.

Cette division de l'espace aérien, soumise au contrôle, est adaptée à la densité et au type de trafic aérien s'y écoulant.

L'espace aérien Algérien est découpé en sept secteurs mis sous la responsabilité de sept équipes de contrôleurs aériens (Fig 1-6). Actuellement, cette sectorisation est devenue surchargée à cause

de l'augmentation du trafic aérien. Une étude est en train de se faire pour diviser l'espace aérien en dix secteurs afin de minimiser la tâche des contrôleurs aériens et d'améliorer la sécurité des aéronefs (Achachi Abdelali, 2015).

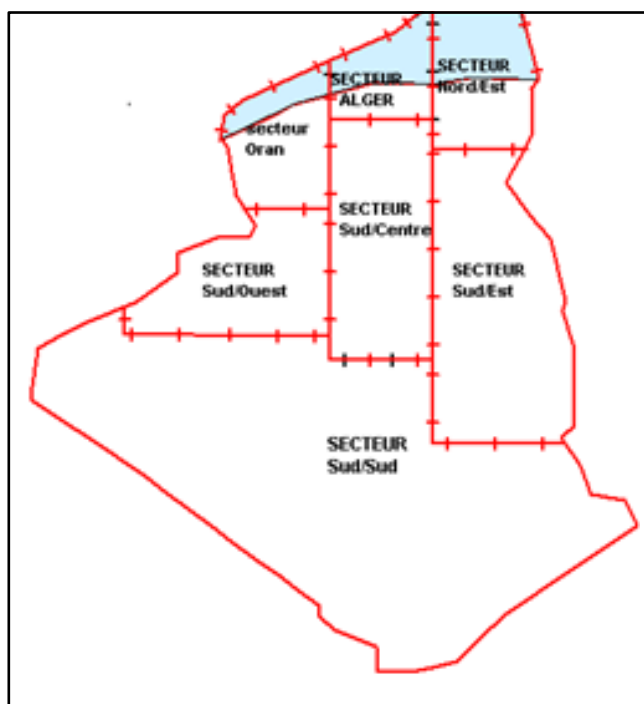


Figure 1-6: Sectorisation de l'espace aérien Algérien

1.2.2 Le contrôle du trafic aérien :

Le principe général du contrôle aérien est de guider les aéronefs évoluant dans l'espace aérien soumis à contrôle (Smolensky & Stein, 1998). Cependant le contrôle aérien n'est pas unique, mais divisible en trois catégories de contrôle. Pour chaque vol contrôlé, les différents services de contrôle aérien se relaient, prenant en charge différentes phases de vol (Fig 1-7) pour assurer la prise en charge des vols tout le long de leur trajet.

1.2.2.1 Différents types de contrôle aérien :

Nous distinguons trois types de contrôle : le contrôle d'aérodrome, le contrôle d'approche et le contrôle en route.

- **Le contrôle d'aérodrome ou de tour (aéroport).** Il a la charge d'une zone restreinte autour de l'aérodrome. Ses fonctions sont d'assurer les phases de décollage et d'atterrissage des aéronefs,

ainsi que tous les déplacements au sol entre les terminaux de l'aéroport et les pistes de décollage et d'atterrissage. Ce contrôle s'effectue depuis la tour de contrôle située aux pieds des pistes.

• **Le contrôle d'approche.** Il gère les aéronefs en phase de montée et de descente dans les zones à proximité des aéroports (entre 10 et 30 Milles Nautiques (NM) des pistes). Pour les aéronefs au départ, le contrôle d'approche vise à amener l'aéronef de son point de sortie de la zone de contrôle d'aérodrome à sa route en phase de croisière. Dans ce cas, le contrôle vise à assurer la compatibilité des déplacements des aéronefs en incluant la nature des trajectoires et des performances (vitesse de montée) des aéronefs (Caroline Martin, 2013). Pour les arrivées, le contrôle d'approche a pour fonction de disposer les aéronefs les uns derrière les autres en direction des pistes afin de faciliter le travail du contrôle d'aérodrome.

• **Le contrôle En-Route.** Il gère la progression des aéronefs évoluant dans les zones de croisières entre les aérodromes. Dans ces zones, les grandes majorités des aéronefs circulent le long des routes aériennes préétablies, appelées couloirs aériens. Ces routes permettent aux contrôleurs aériens d'avoir une visualisation plus aisée de la situation spatiale des aéronefs qui facilite la gestion des points de croisement des voies aériennes.

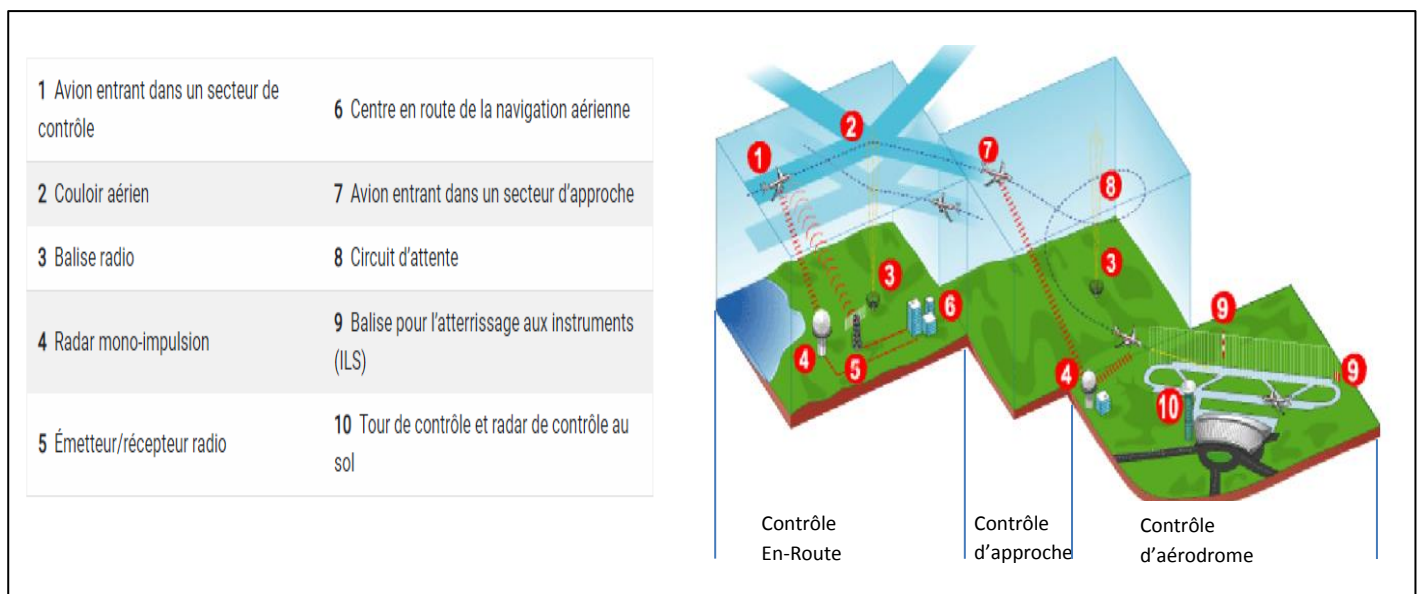


Figure 1-7: Phases de contrôle aérien (ministère de la transition écologique et solidaire)

1.2.2.2 Les missions confiées au contrôle aérien :

Le contrôle aérien est l'un des services de la circulation aérienne prévus par la Convention de Chicago, il est rendu par les centres de contrôle En-Route aux compagnies aériennes qui le financent sous la forme de redevances, afin d'aider à l'exécution sûre, rapide, ponctuelle et efficace des vols et afin d'optimiser la satisfaction de leurs clients.

Au niveau mondial, trois différentes missions sont confiées au contrôle aérien, étant, par ordre de priorité (RCA, Réglementation de la Circulation Aérienne, 2008) :

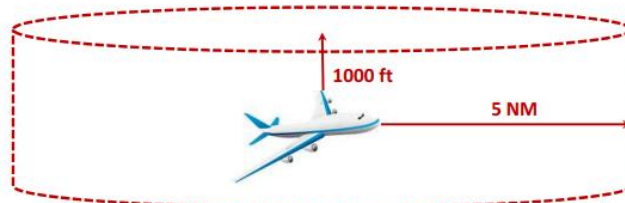


Figure 1-8: Norme de séparation entre aéronefs en vol (RCA, 2008)

- Une mission de sécurité. Elle consiste à assurer que les vols respectent des distances de sécurité entre eux et à prévenir les collisions entre aéronefs. L'OACI a mis au point en 1996 des normes de séparation destinées à devenir un standard en termes de sécurité aérienne (OACI, 1996). La zone de sécurité est assimilable à un cylindre centré sur chaque aéronef, avec un rayon de 5 miles nautiques (NM) et une hauteur de 1000 pieds (FT).
- Une mission de respect de l'environnement visant à optimiser, raccourcir les trajectoires des aéronefs, « éviter les détours », quand cela est possible et ne pas mettre leur sécurité en cause pour limiter au maximum la consommation de kérosène.
- Une mission d'information. Cette dernière mission consiste à informer les pilotes des aéronefs quant à d'éventuels événements météorologiques qu'ils seraient susceptibles de rencontrer (zone d'orage).

1.3 Généralités sur les aéroports

D'après l'annexe 14 de l'OACI : l'aéroport est une surface définie sur terre ou sur l'eau (comprenant, éventuellement, bâtiments, installations et matériel), destinée à être utilisée, en totalité ou en partie, pour l'arrivée, le départ et les évolutions des aéronefs à la surface. Un aéroport certifié est un aéroport dont l'exploitant a reçu un certificat d'aéroport. Aire à signaux. Aire d'aéroport sur laquelle sont disposés des signaux au sol (OACI, 2004).

Les infrastructures d'un aéroport sont adaptées à son type d'utilisation. Ils regroupent généralement :

L'aire de mouvement se compose de :

- L'aire de manœuvre qui comprend :
 - ⇒ Les pistes (aire d'atterrissage)
 - ⇒ Les voies de circulation (taxilanes).
- L'aire de trafic aérien destinée à recevoir les avions pendant les opérations d'escale et d'assistance... Elle comprend :
 - ⇒ Les aires de stationnement, les aires d'entretien et les aires de garage
 - ⇒ Les voies de circulation d'aire de trafic aérien (taxiway).

Aire d'atterrissage et ses protections

- L'aire d'atterrissage comprend la ou les pistes et leurs prolongements éventuels.
- Piste : aire rectangulaire aménagée afin de servir sur sa longueur au roulement des avions, au décollage et à l'atterrissage ;
- Accotement : partie des abords de piste traités de façon à offrir une surface de raccordement entre cette chaussée et le terrain environnant, afin de limiter le risque d'ingestion de corps étranger par des tétra-moteurs ;
- Bande aménagée : partie jouxtant les côtés de la piste revêtue (bords et extrémités) ou des prolongements d'arrêt aménagée de façon à limiter les conséquences d'une sortie de piste, pour réduire les dommages sur un avion sortant accidentellement de la piste
- Bande (dégagée) : aire débarrassée de tout obstacle pouvant présenter un danger pour un avion volant à faible hauteur. La bande est délimitée par le périmètre d'appui ;
- Aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA) : appelée aire de recueil par l'ITAC, elle est destinée à réduire les risques matériels d'un avion se posant trop court ou trop long ;
- Prolongement d'arrêt : aménagé pour augmenter la distance d'accélération-arrêt ;
- Prolongement dégagé : aire débarrassée de tout obstacle pouvant présenter un danger pour un avion volant à faible hauteur ; aménagée pour augmenter la distance de décollage ;
- Tiroir : partie de la piste comprise entre le seuil de décollage et le seuil d'atterrissage, s'ils sont différents.

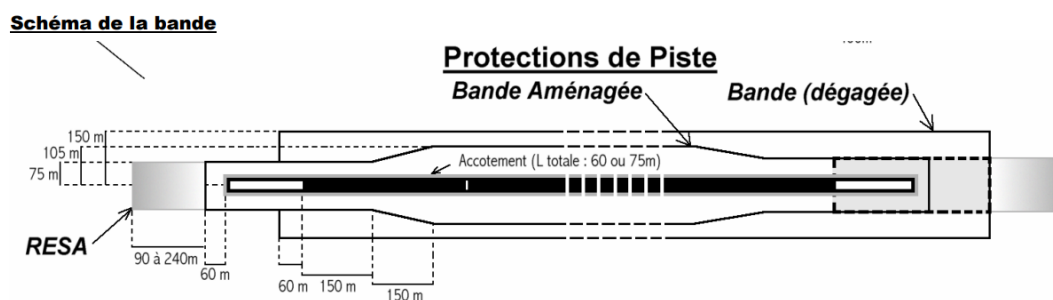


Figure 1-9: Schéma de l'aire d'atterrissage (ITAC, 2003)

Voies de circulation

- Entrées-sorties de piste
- Point d'attente, aire d'attente
- Voie de relation : non accolée à une aire de stationnement (50 à 60 km/h) ;
- Voie de desserte : accolée à une aire de stationnement (30 à 35 km/h).
- Surlargeur : partie de voie de circulation rajoutée à l'intérieur du virage dans une courbe.
- Congé de raccordement : partie rajoutée à l'intersection de deux voies de circulation ou d'une seule voie avec une piste ou une aire.

Remarque : la route de service est réservée aux véhicules terrestres et ne fait, donc, pas partie des voies de circulation destinées, elles, aux aéronefs.

Aires de stationnement

Le poste de stationnement d'un aéronef est l'emplacement désigné sur une aire de trafic, destiné à être utilisé pour le stationnement d'un aéronef (OACI, 2004). Sa dimension et sa couverture dépendent de la taille et du poids de l'aéronef qui l'utilise.

- Aire de trafic : stationnement des aéronefs pendant les opérations d'escale (embarquement/débarquement des pax et du fret) ;
- Aire de garage : stationnement des aéronefs en-dehors des opérations d'escale ;
- Aire d'entretien : opérations d'entretien et de réparation ne pouvant être faites sur les autres aires ;
- Aires spéciales : aires de compensation des compas, de calage des altimètres, de calage des INS (systèmes de navigation par inertie), alerte à la bombe, manutention de marchandises dangereuses, pélicandromes (approvisionnement des Canadiens) ;

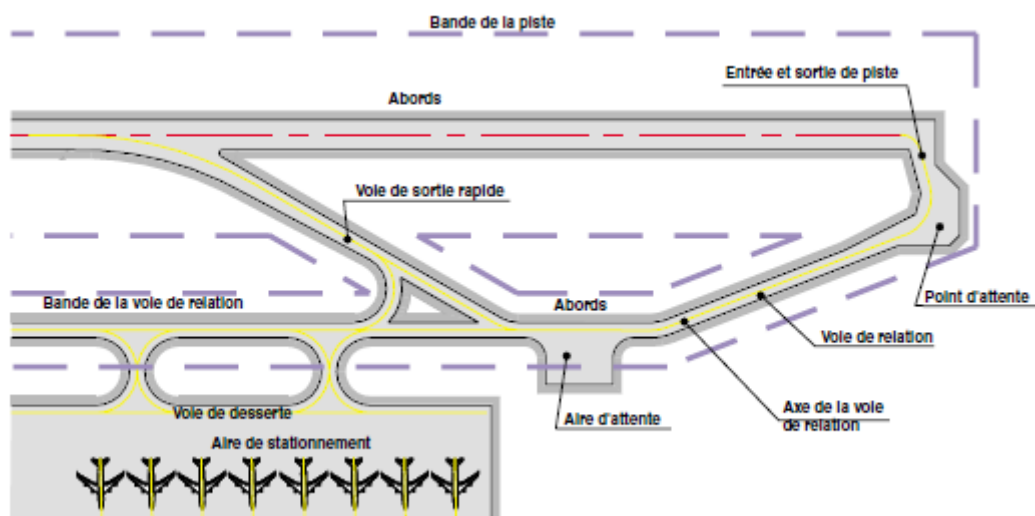


Figure 1-10: Eléments constitutifs de l'aire de mouvement (ITAC, 2003)

Conformité de stationnement des aéronefs sur les voies de circulation :

Dans quelques aéroports algériens la demande excède la capacité des aires de stationnement, les contrôleurs aériens parfois mettent les aéronefs sur les taxiways. Ceci est-il vraiment conforme aux normes et standards Nationaux et mondiaux ? pour pouvoir répondre à cela nous avons synthétisé les différences entre les deux dans le tableau :

Tableau 1-1: Différences entre les aires de stationnement et les aires de circulation

Aire de stationnement	Aire de circulation (taxiway)
Résistance de sol la plus élevée	Résistance de sol varie d'un aéroport à un autre mais reste plus faible que celle des postes de stationnement
Destiné à être utilisé pendant une longue période	Destiné à une utilisation intermittente
Marquage des lignes spéciale pour aider les aéronefs à stationner convenablement	Signalisation et marquage pour guider l'aéronef dans son mouvement à travers la piste
Surface dimensionnée pour chaque type d'aéronef	La surface est destinée à un passage de l'aéronef dans une seule dimension.
Aménagé pour favoriser la sécurité des aéronefs voisins	Pas d'aéronefs voisins



Figure 1-11: Stationnement de dix aéronefs dans les taxiways - Aéroport d'Alger



Figure 1-12: Stationnement de trois aéronefs dans les taxiways - Aéroport d'Alger

L'OACI définit des normes et en recommande l'usage (FAA, 2004) pour les infrastructures des aérodromes. Pour les voies de circulation et les aires de stationnement ces normes concernent les caractéristiques techniques (largeur, matériaux de couverture, distance de sécurité, etc...), l'identification (lettres ou chiffres) et le marquage (peinture au sol, panneaux de signalisation et balise lumineuses). L'utilisation des voies de circulation pour stationner les aéronefs au lieu des aires de stationnement peut s'avérer très dangereux que ce soit pour le sol ou l'aéronef.

En effet, sur un taxiway rien n'aide le pilote pour bien placer son aéronef. De plus le sol d'une aire de circulation n'est pas consolidé pour soutenir et résister au poids de ces aéronefs pendant de long périodes continues. Il est aussi à noter que la largeur d'un taxiway ne peut contenir deux aéronefs en même temps donc la présence d'un aéronef stationné pose beaucoup de contraintes

pour un autre aéronef traversant le taxiway, dans une situation pareille, les distances de sécurité pour les deux engins sont rarement respectées. Ce cas-là présente un réel risque de collision entre les deux.

Les règles de sécurité et de sûreté présentes dans l'annexe 14 pour la conception des postes de stationnement ne s'appliquent pas sur les voies de circulation ce qui engendre une non-conformité pour l'aérodrome.

1.4 La gestion des flux de trafic aérien (ATFM)

La capacité d'un aérodrome ou d'un secteur de contrôle est finie.

La gestion des flux de trafic aérien (Air Traffic Flow Management, ATFM) est la partie de la gestion du trafic aérien qui vise à éviter la saturation des aérodromes et des secteurs de contrôle. Pour cela le trafic aérien est régulé, c'est-à-dire que les vols doivent être annoncés à l'avance et que leur heure de décollage est fixée par un organisme de régulation. Cette opération a pour effet de retarder certains décollages, mais diminue le risque d'attente en vol et donc améliore globalement la ponctualité.

1.4.1 Eurocontrol

EUROCONTROL, ou Organisation Européenne pour la sécurité de la navigation aérienne, est une organisation intergouvernementale comptant 41 États membres et 2 États signataires d'un accord global. Son but est de créer un ciel unique européen capable de fournir les performances de gestion du trafic aérien (ATM) requises pour le XXI^e siècle et les années suivantes (Eurocontrol, 2019).

Depuis sa création en 1960, plus de 1900 professionnels répartis dans quatre pays européens travaillent chez EUROCONTROL dont le siège se trouve à Bruxelles.

Sa mission est d'harmoniser et d'unifier la gestion de la navigation aérienne en Europe, en promouvant un système uniforme pour les usagers civils et militaires, dans des conditions de sécurité maximale tout en minimisant les coûts et les impacts environnementaux. Parmi ses activités la gestion du réseau européen. Il s'agit des activités de recherche et développement, de coordination des programmes d'investissement et de développement des États membres et de production de normes techniques communes.

1.4.2 Objectifs de la gestion des flux de trafic aérien

Les principaux objectifs de la gestion des flux de trafic aérien sont :

- Adapter le flux de trafic aérien à la capacité en prévenant les surcharges et en lissant l'écoulement du trafic aérien ;
- Garantir la sécurité des vols ;
- Limiter les contraintes sur le trafic aérien ;
- Limiter les retards.

L'ATFM rend service aux différents acteurs du trafic aérien :

Le lissage de l'écoulement du trafic aérien est essentiellement un service envers le contrôle aérien puisqu'il s'agit, en fait, de lisser la charge de travail des contrôleurs aériens afin de leur permettre d'assurer au mieux la sécurité des vols.

La limitation des contraintes et retards est un service envers les AO pour leur faciliter la planification des vols, minimiser les surcoûts d'exploitation (allongement des trajectoires, gaspillage des ressources à cause des retards, etc...).

1.4.3 La gestion et la régulation des flux de trafic aérien en Europe

Une régulation des flux de trafic aérien dans un secteur peut avoir lieu dans plusieurs cas, notamment, de saturation d'un aéroport ou bien d'espace aérien pour maintenir les distances de sécurité (EUROCONTROL, 2014). Une procédure d'allocation de créneaux s'impose pour gérer une demande croissante d'environ 5% chaque année (N. Barnier 2010). EUROCONTROL utilise un module qui automatise la régulation et l'allocation des créneaux : CASA algorithme développé par La CFMU (Central Flow Management Unit). Cette unité centralise les plans de vols à l'échelle du continent et régule le trafic aérien dans le but de minimiser les retards et de garantir la sécurité des vols. Le module fournit une moyenne de disponibilité d'une route ou d'aires de stationnement et génère de nouveaux slots si une saturation d'un aéroport se présente (N. Barnier 2010).

Au niveau européen, la gestion de flux de trafic aérien et sa régulation est centralisée par Eurocontrol et se divise en plusieurs phases que leurs dynamiques hiérarchisent : (Nicolas, 2002)

1. Stratégique/Structurelle : des négociations entre diverses instances (aviation civile, militaire, compagnies aériennes) et des plans d'orientation à long terme définissent les grandes lignes de l'évolution de l'espace aérien français et européen.
2. Pré-tactique : c'est l'organisation d'une journée de trafic aérien un jour ou deux à l'avance. Lors de cette phase, la majeure partie des plans de vols sont connus ainsi que l'effectif des contrôleurs aériens et les capacités des différentes configurations possibles des centres de contrôle. Les Flow Management Positions (FMP) sont alors chargées de planifier

l'ouverture des secteurs de leur centre respectif pour l'adapter au trafic aérien. La Central Flow Management Unit (CFMU) centralise ensuite toutes ces informations pour identifier les surcharges de trafic aérien et les réguler (retards et re-routage).

3. Tactique : les allocations de créneaux de la CFMU sont mises à jour quelques heures avant le vol en tenant compte des modifications non connues lors de la phase précédente.
4. Temps réel : les contrôleurs aériens sont chargés d'organiser l'écoulement du trafic aérien au sein de leur secteur et de la coordination avec les secteurs voisins. Ils peuvent donner des ordres de manœuvres aux pilotes pour faire varier leur trajectoire et leur vitesse afin de respecter les normes de séparation entre aéronefs.

1.5 Evolution du trafic aérien

Dans le but de mieux apprécier le volume de trafic aérien que doit gérer les contrôleurs aériens algériens, nous avons utilisé les prévisions de clôture des années 2016,2017,2018 et les prévisions pour l'année 2019 (ENNA, 2016) (ENNA, 2017) (ENNA, 2018) (ENNA, 2019) pour calculer l'évolution de trafic aérien dans deux cas : en route et aux aéroports. Les résultats sont présentés dans la figure 1-13:

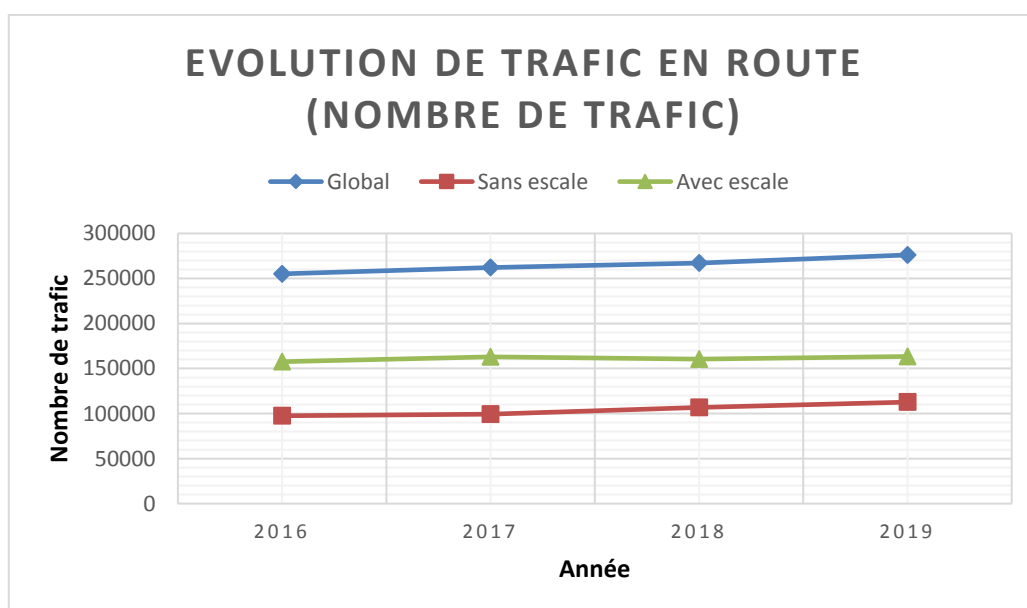


Figure 1-13: Evolution de trafic aérien en route en Algérie (Nombre réelle)

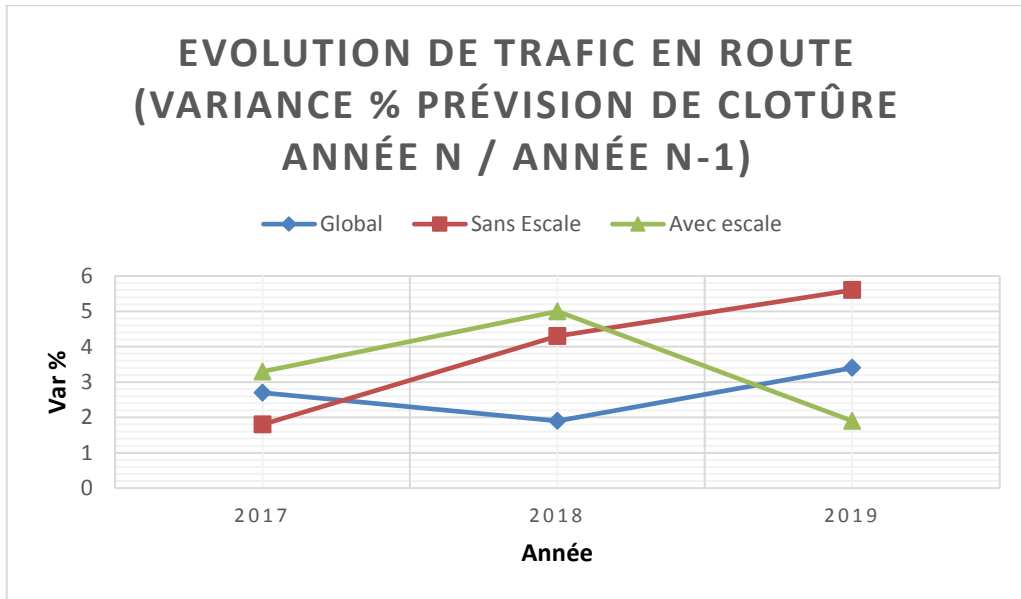


Figure 1-14: Evolution de trafic aérien en route en Algérie (Variation réelle)

Le trafic aérien en route pour ces dernières années affiche un taux de croissance global qui part de 2.7% en 2017 à 3.4% en 2019. Cette évolution comprend deux types :

- Sur vols sans escale qui présente une augmentation de 1.8% à 5.6% en 2019.
- Sur vols avec escale (national et international) avec une variation de l'ordre de 1.9% en 2019.

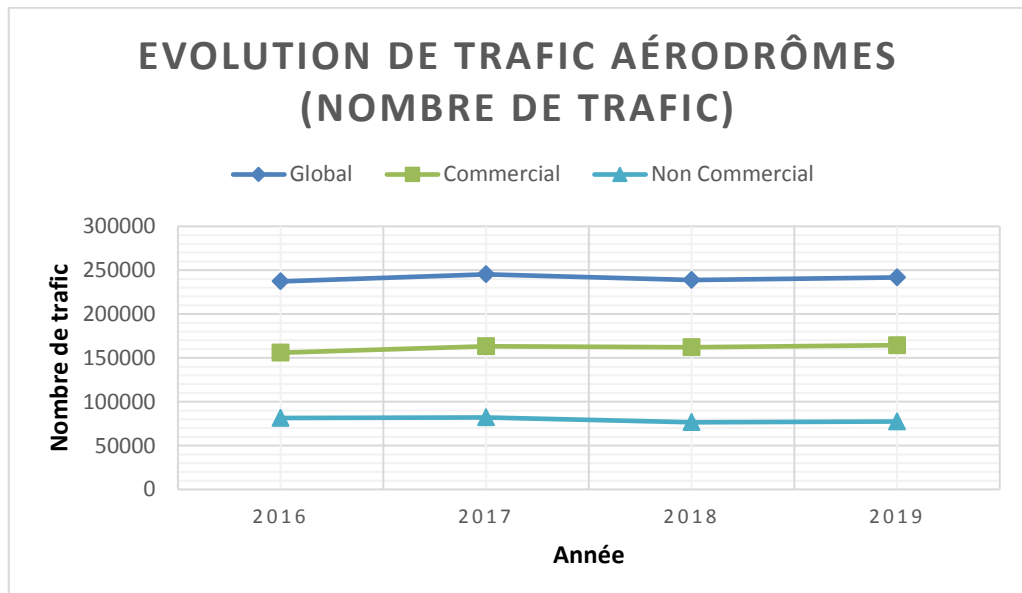


Figure 1-15: Evolution de trafic aérien aérodrômes en Algérie (Nombre réelle)

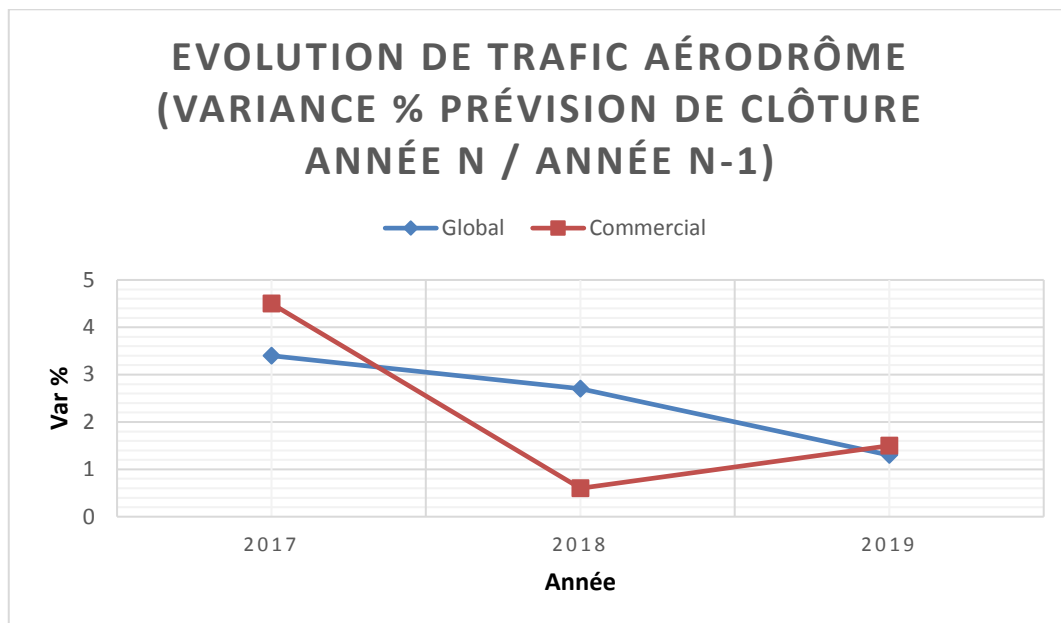


Figure 1-16: Evolution de trafic aérien aéroports en Algérie (Variation réelle)

En ce qui concerne le trafic aérien en aéroport, il présente une croissance de 237200 vols commerciaux et non commerciaux en 2016, à 241863 vols en 2019. On prévoit d'augmenter, en particulier, les mouvements commerciaux jusqu'à 164469 vols, en fin 2019. Ce qui représentera une variation de 1.5% par rapport à 2018.

Interprétation des résultats

En l'espace de quatre ans, le trafic aérien global a augmenté considérablement et les prévisions affichent une continuité de croissance. En conséquence, il résulte en une charge de travail élevée pour les contrôleurs aériens en route ainsi que pour les contrôleurs aériens de tour et d'approche (pour les survols avec escale).

Selon le département des statistiques au sein de l'ENNA, cette augmentation est essentiellement dû à :

- Fluctuations des cours du prix du pétrole ;
- Accélération de la croissance économique dans la zone européenne durant l'année 2017 ;
- La reprise du tourisme ;
- Prévision d'ouverture de routes aériennes ;
- Augmentation de la flotte mondiale ;
- Aspect sécuritaire dans la région ;

- Les fluctuations de la croissance mondiale.

Conclusion

Par le biais de ce chapitre, nous avons pu donner un aperçu sur le corps qui assure la navigation aérienne en Algérie. Nous avons également suscité le métier du contrôleur aérien avec ses différents types et détaillé les moyens et outils utilisés pour l'accomplissement de ses tâches.

Le contrôleur aérien algérien en route gère sept secteurs et joue un rôle crucial dans la gestion des flux aériens (ATFM). Il fait également partie de la coordination aéroportuaire et y contribue avec ses collègues pour assurer la sécurité du vol et la délivrance d'un service de qualité. Ceci nous a donné l'occasion de mentionner l'organisation qui gère le flux aérien au continent européen, chapotée par Eurocontrol, qui se révèle indispensable pour la suite de l'étude. Le chapitre s'achève avec un bref aperçu sur l'évolution du trafic aérien en Algérie pendant les quatre dernières années afin d'introduire le chapitre suivant qui détaillera l'effet de l'augmentation de trafic aérien sur les performances d'un contrôleur aérien. Ce chapitre nous a été d'une grande importance pour bien déterminer le type de difficultés rencontrées par ces aiguilleurs de ciel, ce qui nous aidera à comprendre la problématique avancée par l'entreprise qui est la gestion de la saturation des aires de stationnement.

CHAPITRE 2

Charge mentale de travail

2 Charge mentale de travail

Introduction

L'opérateur humain joue un rôle essentiel dans le domaine du contrôle aérien. Dans ce chapitre nous allons détailler les tâches de contrôleur aérien et leurs caractéristiques. Nous allons également introduire la notion de la charge mentale et les méthodes permettant de l'évaluer. Enfin, nous allons discuter des résultats issus de travaux antérieurs portant sur l'évaluation de la charge mentale chez les contrôleurs aériens.

2.1 Contrôleurs aériens En-Route

2.1.1 Les tâches des contrôleurs En-Route et les outils utilisés

Les contrôleurs aériens En-Route travaillent en binôme. Chaque binôme gère le trafic aérien s'écoulant sur un secteur de contrôle. Les deux contrôleurs jouent deux rôles bien distincts même s'ils sont bien-sûr interdépendants.

Dans certaines situations particulières (forte charge sur un secteur nominal donc non dégroupable, incident induisant un surcroît de travail inhabituel) ou par choix sur certains secteurs (spécificité géographique), il est tout à fait imaginable d'avoir un troisième contrôleur aérien. Dans certaines autres conditions (manque d'effectif, faible trafic aérien) est possible qu'un contrôleur aérien travaille seul. Cette pratique connue sous la dénomination SMO (pour Single Man Operations) est utilisée dans certains pays tels que l'Algérie et interdite dans d'autres pays tel que la France.

Au sein du binôme de contrôleurs aériens En-Route, on distingue :

Le contrôleur organique, aussi appelé *planner*, Il est responsable de surveiller les secteurs entourant le secteur dont lui et son binôme ont la charge et d'assurer une bonne coordination avec les binômes adjacents. Son rôle principal est de préparer la séquence de trafic aérien se situant à t+1 pour faciliter le travail de son binôme. Cette facilitation va consister en trois actions principales :

- Organiser les vols qui vont arriver dans le secteur : une dizaine de minutes avant l'arrivée de chaque vol, le "planner" reçoit le strip indiquant toutes les informations nécessaires (aérodrome de départ/arrivée, heure, trajectoire). Selon différents critères, il va le mettre dans un porte-strip rouge, vert, jaune ou bleu.
- Analyser le devenir de la situation et détecter les potentiels conflits.

- Résoudre, si c'est possible, ces conflits. Dans le cas où cela n'est pas possible et en fonction de l'état de la situation à l'instant t (quantité de trafic aérien, complexité du trafic aérien géré, profils des aéronefs en conflit...), l'organique peut être amené à avertir son binôme pour que celui-ci puisse agir sur la situation.

Le contrôleur radar, également appelé « tactique », il assure les communications avec les pilotes des aéronefs qui évoluent dans son secteur. Son rôle principal est de superviser la situation de trafic aérien afin d'y détecter et résoudre les conflits susceptibles de se produire. Pour cela, le contrôleur radar, à l'aide de la visualisation radar, se crée une représentation mentale de la situation de trafic aérien qu'il supervise ; il anticipe la position future des aéronefs afin de détecter les conflits susceptibles de se produire. Enfin, pour les conflits dont le risque est avéré, il va définir une solution permettant d'écarter les aéronefs impliqués. Pour rendre effective cette solution, le contrôleur aérien va communiquer aux pilotes concernés là où les modifications de trajectoire à effectuer, que l'on appelle ordre de pilotage ou encore clairance.

Pour synthétiser, la tâche de contrôle aérien est directement liée à une évaluation subjective entourée d'incertitude omniprésente quant à la position des aéronefs, potentiellement différentes de celles prescrites (plans de vol) en fonction des conditions météorologiques (orientation et sens du vent) et des événements se produisant à bord (panne, retard, alaise, prise d'otage par exemple). Pour s'adapter à la dynamique de la situation, le contrôleur aérien actualise la représentation initiale qu'il s'est construit en fonction des événements qu'il s'y produit. Cette caractérisation de la tâche de contrôle est illustrée dans la figure 2-1 illustrant les grandes étapes de la tâche de contrôle aérien sous la forme d'un cycle :

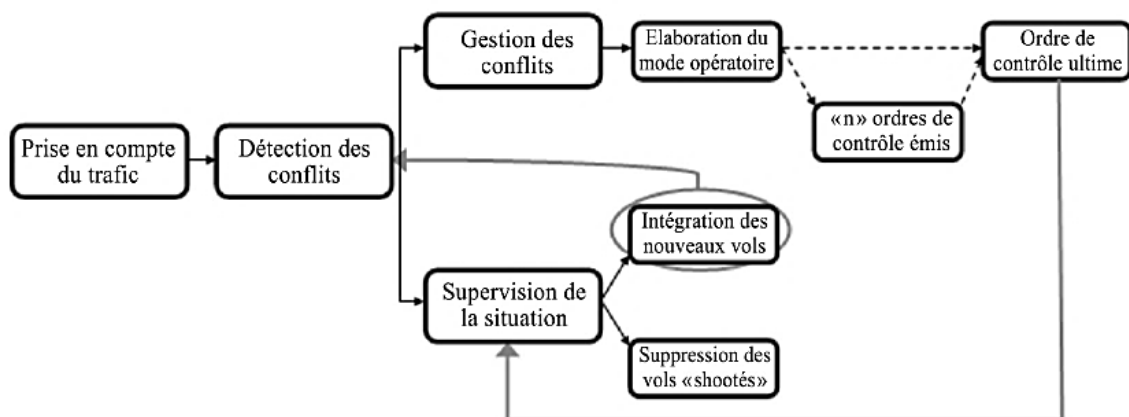


Figure 2-1 : Cycle de la tâche de contrôle aérien (Caroline Martin,2013)

Outils :

Pour satisfaire l'ensemble de ses fonctions, le contrôleur aérien dispose de trois principaux outils, à savoir l'image radar, le strip et la radiotéléphonie.

L'image radar : Cet outil constitue une représentation graphique de la situation de trafic aérien que les contrôleurs aériens doivent gérer. Elle fournit la quasi-totalité des informations nécessaires au contrôleur aérien. Elle propose une vision 2D (de dessus) de l'ensemble du secteur qui inclut l'affichage des voies aériennes. Chaque aéronef est accompagné d'une étiquette rectangulaire. Elle indique au contrôleur aérien trois principales informations, soit, de haut en bas :

1. La vitesse de l'aéronef ;
2. L'indicatif, propre à chaque aéronef. Il permet également de connaître le modèle de l'appareil (cette information permet notamment de savoir quelle manœuvre l'aéronef peut entreprendre) ;
3. Le niveau de vol (l'altitude). Elle est accompagnée d'une flèche de tendance qui indique si l'aéronef est en montée, en descente ou en altitude constante ;

Finalement, chaque aéronef est accompagné de deux indicateurs de mouvements, passés et futurs. Le premier est appelé « comète » et se situe à l'arrière de l'aéronef. Il est composé d'une série de ronds qui retrace les dernières positions occupées par l'aéronef. Le deuxième est situé à l'opposé. Il correspond à un « vecteur vitesse » dont la longueur est ajustable à tout moment par le contrôleur aérien. Son extrémité donne approximativement la position future de l'aéronef à 3, 6, 9 ou 12 minutes.



Figure 2-2: Image Radar

Le strip : La seconde source d'information est présentée sur du papier rectangulaire de petite taille nommés « strip ». Il est destiné à matérialiser un vol, il contient le résumé du plan de vol tel qu'il a été déposé par le pilote de l'aéronef. Il parvient au contrôleur aérien quelques minutes avant l'entrée de l'aéronef dans le secteur. Le contrôleur aérien en prend alors connaissance et le dispose devant lui pendant la durée de présence de l'aéronef dans le secteur.

Plus précisément, le strip indique les principales caractéristiques de l'aéronef, son indicatif, ainsi que l'itinéraire que l'aéronef va emprunter. L'indication de l'itinéraire est une information majeure sur laquelle s'appuient les contrôleurs aériens pour planifier la gestion de l'aéronef. Enfin, le strip possède un espace libre qui permet au contrôleur aérien d'inscrire ce qu'il juge nécessaire pour assurer le suivi de l'aéronef (les changements d'altitude principalement). Le strip papier joue également un rôle de support de communication entre contrôleurs organique et radariste. L'organique récupère, annote et fait passer les strips au radariste avant que les aéronefs ne rentrent sur le secteur.

DTH1140	M	12 25	310	SAKNA	BAY	GOMRI	DAOO	11: 25
5060	B738							3 / 07
DAOO	DAUH							2019
7TVCA	NO450	JPBD						STA03
								ENR19

Figure 2-3: Strip

La Radiotéléphonie : Finalement, la radiotéléphonie est le dernier outil majeur utilisé par les contrôleurs aériens. Elle lui permet d'interagir oralement avec les pilotes des aéronefs, principalement lors des requêtes envers les pilotes visant à réguler ou à résoudre les conflits potentiels.

Plus précisément, ce média sera utilisé dans deux principaux cas :

1. La prise de contact avec chaque aéronef pour informer les pilotes de leur entrée ou sortie du secteur ;
2. L'envoi des « clairances¹ » afin de résoudre un conflit ou simplement de fluidifier le trafic aérien.

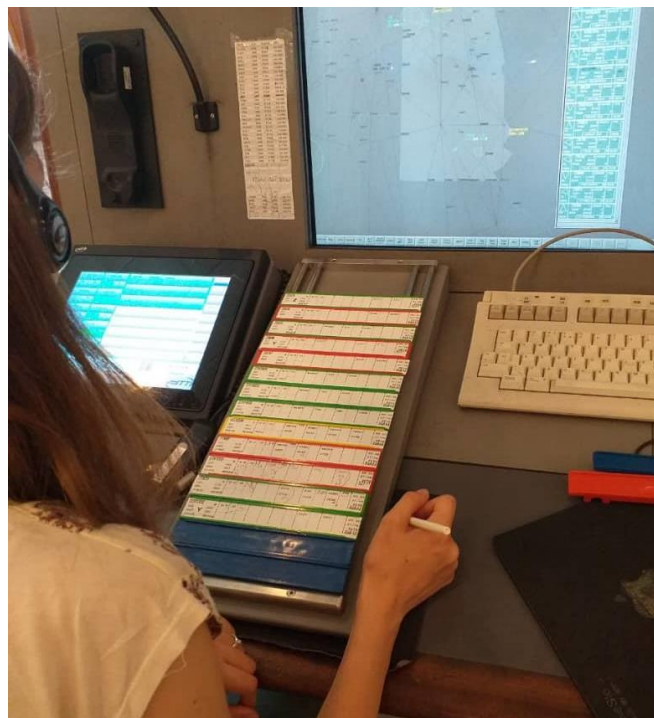


Figure 2-4: Contrôleur aérien utilisant un radiotéléphone (devenir-aviateur.fr)

2.1.2 Principales caractéristiques de la tâche du contrôleur En-Route

La présentation du contrôle aérien, tâche de supervision en aéronautique, met en exergue une visée de garantie de la sécurité du transport aérien. Plus précisément, nous distinguons trois caractéristiques principales que nous décrivons ci-dessous.

Des situations dynamiques et complexes

La première d'entre elles porte sur le processus lui-même spécifiques. Les informations définissant l'état de la situation, et qui varient au cours du temps lui-même. Les situations

¹Une clearance est une autorisation délivrée à un aéronef afin de manœuvrer dans des conditions spécifiées.

aéronautiques sont définies comme dynamiques, et imposent des contraintes, ne dépendent ainsi que partiellement des actions réalisées. En effet, le processus continue d'évoluer même sans intervention du contrôleur aérien. La garantie d'une action adaptée aux évolutions de la situation se traduit par l'intégration de ses états futurs, estimés par l'opérateur à l'aide d'anticipations ou d'attentes (Morineau, Hoc & Denecker, 2003). L'évolution de la situation va produire des changements qui, se combinant à la situation initiale, peuvent fortement modifier son niveau de complexité. Dans ce cas, l'aiguilleur de ciel doit évaluer cette évolution et l'intégrer à son action pour conserver un niveau de performance correct.

Les situations aéronautiques sont également définies comme complexes. Une importante quantité de données agit sur la situation, ces données présentant de multiples interactions entre elles. L'intégration de l'état de la situation, ainsi qu'une analyse et un tri d'informations sont donc nécessaires pour que le contrôleur aérien puisse gérer la situation. Les situations aéronautiques sont aussi multifocales. En effet, le nombre important de données définissant la situation peut être constitué de différents ensembles (instruments par exemple). Lorsque ces derniers sont traités indépendamment par l'opérateur, son attention, son analyse, voire son action, se focalisent sur une partie de la situation. Lorsqu'il exécute une tâche donnée, l'opérateur va donc interrompre le contrôle d'une partie de la situation, pour une durée plus ou moins importante. (Caroline, Sylvain et Julien, 2013).

Des opérateurs experts dont le rôle est central pour les situations supervisées

L'opérateur humain (contrôleur) est, bien entendu, un des éléments qui caractérise les situations aéronautiques. Tout d'abord, il est essentiel de pointer la place occupée par l'opérateur dans ces situations. Il y représente, pour ainsi dire, le dernier « filet de sauvegarde », puisqu'il est capable d'analyser, de s'adapter, et d'agir sur la situation en fonction d'un contexte donné. L'opérateur humain est généralement le dernier recours du système pour éviter l'occurrence d'un accident.

Paradoxalement, l'opérateur est généralement rendu responsable des catastrophes, même si celles-ci résultent d'une situation trop complexe à gérer en raison des événements imprévus ou des erreurs de conception des systèmes embarqués. Cette caractéristique révèle la part d'incertitude dans toute situation aéronautique et la gestion continue des risques par le contrôleur aérien.

Les contrôleurs En-Route sont également caractérisés par leur niveau d'expertise. Ils ont tous un niveau d'expertise minimal acquis par le biais d'une formation poussée. Celle-ci garantit leurs aptitudes à gérer ce type de situations dans une enveloppe de situations données, où leurs

compétences sont directement applicables. Cependant, ce niveau d'expertise n'est pas figé et évolue avec l'expérience acquise par les opérateurs. Cette évolution s'accompagne par l'alimentation d'une « bibliothèque » de représentations en mémoire qui permettent des raisonnements à base de cas. Elles correspondent en fait à des sous-ensembles « configuration de situation/mode opératoire associé » où, pour une situation particulière, l'opérateur a été en mesure de définir un plan d'action efficient qu'il estime pouvoir réutiliser en conséquence. Cette bibliothèque est essentielle à l'action menée par l'opérateur car elle lui permet de gérer des situations de façon économique en termes de ressources cognitives mobilisées. Lorsque la situation n'est pas incluse dans sa bibliothèque, l'opérateur doit construire un plan d'action adapté à la situation rencontrée. Dans ce cas, une phase d'analyse particulièrement coûteuse est nécessaire.

Une autre particularité associée à ces contrôleurs aériens porte sur leur adaptabilité. Cette caractéristique peut se décliner sous plusieurs formes. Lorsqu'il exécute sa tâche, le contrôleur aérien va être amené à s'adapter à un niveau d'exigences qui va varier au cours du temps. Il va également devoir réguler, en fonction du niveau d'exigences défini, le niveau de ressources cognitives qu'il va mobiliser. Cela induit une gestion des priorités visant à définir, selon la situation, l'objectif visé pour un temps donné. (Caroline, Sylvain et Julien, 2013).

Des tâches multiples et complémentaires nécessitant un niveau de performance élevé

La dernière caractéristique associée aux situations de l'aéronautique porte sur les tâches à réaliser. En effet, celles-ci sont marquées par leur aspect multifocal. Il est possible de distinguer au sein de la tâche principale, plusieurs sous-tâches potentiellement concurrentielles (en termes de temps alloué et de ressources cognitives requises), mais complémentaires car toutes indispensables à la bonne réalisation de la tâche principale. Pour pallier cela, le contrôleur aérien doit réaliser une gestion en parallèle du temps et des ressources pour réaliser les différentes sous-tâches. Cette gestion en parallèle qui se traduit par une priorisation des tâches.

Les tâches sont également caractérisées par le niveau de performance à atteindre. La place centrale occupée par la sécurité dans ces situations implique que le niveau de performance doit être nécessairement élevé, sans quoi la situation pourrait rapidement se dégrader de par ses évolutions. (Caroline, Sylvain et Julien, 2013).

Ainsi, à partir des caractéristiques, on déduit que le contrôleur aérien En-Route doit gérer la sollicitation de ses ressources cognitives dans des situations dynamique. Dans le cas inverse, il s'exposerait à des phases de saturation où la compréhension de la situation, la performance de

certaines sous-tâches, voire la sécurité des opérations, seraient remises en cause. Ici, la notion de charge mentale prend toute son importance car elle permet d'opérationnaliser cette gestion des risques et des ressources cognitives

2.2 Charge mentale chez contrôleurs aérien En-Route

2.2.1 Définition de la charge mentale

Dans la littérature nous trouvons la charge mentale comme objet de plusieurs travaux, nous citons cinq définitions issues de domaines scientifiques différents (Ergonomie, « Human Factors », Psychologie, Ingénierie industrielle).

Leplat (1977) définit la charge mentale comme les ressources cognitives mobilisées par l'opérateur lui permettant de répondre aux exigences de la tâche qu'il réalise. Cette définition désigne la charge mentale comme une conséquence de l'interaction entre l'homme et la tâche qu'il réalise.

La charge mentale reflète l'interaction d'éléments tels que les demandes des tâches et du système, les capacités de traitement et d'effort de l'opérateur, les critères de performance subjectifs, le comportement de traitement de l'information, les stratégies de l'opérateur et, la formation ainsi que l'expérience antérieure des opérateurs (Meshkati, 1988). Cette définition montre l'aspect multidimensionnel de la charge mentale.

Wickens (2000) la définit fondamentalement en termes de relation entre l'offre (ressources disponibles) et la demande (exigences). Cette approche permet de mettre l'accent sur les variations de charge mentale ressentie par l'opérateur au cours de l'exécution de la tâche. En effet, l'opérateur s'adapte au niveau d'exigences de la tâche à réaliser, à travers l'objectif qu'il se fixe.

La définition de Staveland (1988) et de Theureau (2002) désigne ainsi le concept de charge mentale comme un concept qui se comprend bien en général, mais qui est difficile à définir de façon particulière. D'après ces auteurs, la charge mentale est un construit hypothétique représentant le coût pour un humain d'accomplir une tâche avec un certain niveau de performance. Cette représentation du concept de charge mentale met en exergue la place centrale occupée par la performance dans la détermination du niveau de charge mentale.

Enfin, une approche plus récente peut être mentionnée, qui considère la charge mentale liée à la réalisation d'une tâche donnée comme le niveau d'effort mental (la quantité de ressources mobilisées) requis pour la réalisation d'une tâche et pour un individu donné (Tricot & Chanquoy, 1996). Ici, deux caractéristiques du concept de charge mentale sont mises en exergue : tout

d'abord, le fait que la charge mentale est fortement soumise à une variabilité interindividuelle. Cette définition montre également l'incidence de la nature de la tâche et du niveau d'expertise de l'opérateur dans le niveau de charge mentale ressentie, qu'il est nécessaire d'inclure à son évaluation.

L'architecture de modèles de gestion dédiés à la charge mentale des contrôleurs aériens

Les contrôleurs aériens, représentent un élément central dans le système de gestion du trafic aérien et essentiel à son bon écoulement ce qui justifie l'intérêt porté à la façon dont fonctionne et à la manière dont ils gèrent leurs ressources cognitives dans le but d'atteindre un niveau de performance élevé, essentiel pour assurer la sécurité quant aux déplacements des aéronefs dans l'espace aérien.

La charge mentale des contrôleurs aériens a été principalement modélisée à travers deux types d'architecture de modèle :

Le modèle à boucle ouverte (Fig 2-5). Ce type de modèle est centré sur le niveau d'exigences de la tâche. Ces exigences dépendent de la situation de trafic aérien à gérer par l'opérateur.

Le niveau de la charge mentale ressentie est subjectif varie en fonction du niveau de compétences, d'expérience et de la stratégie adoptée par le contrôleur aérien pour gérer la situation.

Ce modèle est illustré par Hilburn et Jorna (2001).

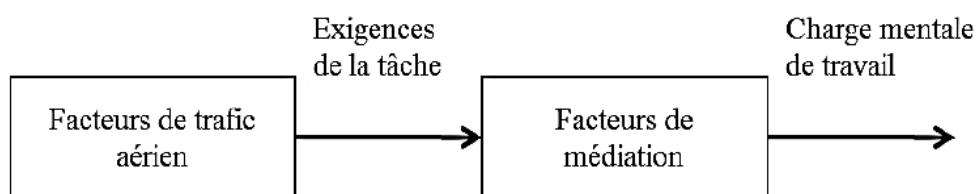


Figure 2-5: Architecture de modèles centrés sur les exigences de la tâche de contrôle (Hilburn et Jorna 2001)

Le modèle à boucles fermées ou boucles de rétroaction (Fig 2-6). Ce type de modèles intègre deux boucles fermées, correspondant à des boucles de rétroaction relatives aux exigences de la tâche et au choix de la méthode de travail (stratégie) du contrôleur aérien.

Les boucles de rétroaction ont pour objectif d'illustrer le caractère adaptatif du contrôleur aérien en fonction du niveau d'exigences de la tâche qui s'impose à lui, mais aussi en fonction des résultats obtenus par le biais de la stratégie initialement choisie et le niveau de charge mentale de

travail lui étant associée. Elle induit notamment le fait que la stratégie opératoire du contrôleur aérien peut être modulée en fonction de son évaluation de la situation.

Les contrôleurs aériens adaptent leurs stratégies en fonction de la charge mentale ressentie, pour maintenir un niveau de charge mentale acceptable. Cela signifie qu'un opérateur peut réaliser une tâche avec différents modes opératoires (qui ne génèrent pas le même coût), et qu'il choisit celui qui est le plus approprié en fonction de ses capacités (Alexandre, 2017). Quand la charge mentale ressentie est faible, l'opérateur ne choisit pas forcément la stratégie la plus économique. En revanche quand la charge mentale ressentie augmente, l'opérateur a tendance à utiliser des stratégies économiques (Sperandio, 1988).

Le modèle de Sperandio (1971) décrit des mécanismes de régulation de la charge mentale.

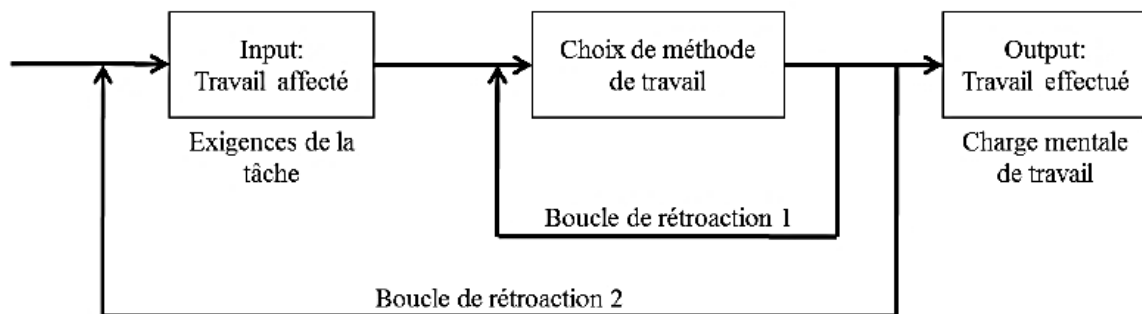


Figure 2-6: Architecture de modèles centrés sur la stratégie opératoire des contrôleurs aériens

2.2.2 L'évaluation de la charge mentale chez les contrôleurs aériens

Évaluer le niveau de charge mentale d'opérateurs présente un enjeu majeur en ergonomie cognitive (Chanquoy, Tricot & Sweller, 2007). Cette évaluation est une problématique de recherche à part entière. De nombreuses mesures ont été proposées dans le contrôle aérien.

Dans ce projet de fin d'étude nous allons nous baser sur les résultats d'une étude menée par Caroline Martin (2013) dans le cadre du projet européen SESAR.

2.2.2.1 Les différentes méthodes d'évaluation de la charge mentale chez les contrôleurs aériens

2.2.2.1.1 Evaluation objective : L'oculométrie ou l'eye-tracking

Van Orden et al. (2001) ont proposé l'analyse de données oculaires dans le cadre de l'évaluation de la charge mentale des contrôleurs aériens. Le postulat majeur de l'évaluation oculométriques est que l'activité visuelle peut refléter – au moins en partie – le coût des différents processus cognitifs nécessaires à la réalisation de la tâche (Pierre-Vincent, 2011).

Caroline Martin (2013) a montré l'existence d'une corrélation entre les variations du niveau d'exigences de la tâche de contrôle, principalement orientée par la présence de situations conflictuelles à détecter puis résoudre, et la variation des paramètres psychophysiologique notamment les paramètres oculaires.

En effet, nous pouvons distinguer plusieurs indicateurs oculaires, analysés dans les antérieures études empiriques. Nous allons citer deux types qu'a évalués Caroline Martin (2013) dans son étude.

Les fixations

Des études ont montré que la durée des fixations oculaires est fortement affectée par la charge mentale (Bunecke, 1987 ; Ephrath, Tole, Stephens & Young, 1980). L'augmentation de la charge implique une augmentation de la moyenne des durées de fixation et une diminution du nombre de fixations (Stein, 1992).

Le diamètre pupillaire

Plusieurs recherches telles que celle de Klingner, Kumar, & Hanrahan (2008) et celle de Troscianko & Gilchrist (2007) ont démontré que les diamètres pupillaires augmentent en fonction de la demande cognitive.

Le tableau suivant résume l'ensemble des indicateurs oculométriques cités précédemment recensés dans le contrôle aérien.

Tableau 2-1: Les différents indicateurs oculométriques selon le niveau de charge mentale chez les contrôleurs aériens (Pierre-Vincent, 2011)

	Faible charge		Forte charge	
Indicateurs	Durées	Nombre	Durées	Nombre
Fixation	Courte	Elevé	Longue	Faible
Clignements	Longue	Elevé	Courte	Faible
Diamètre	Faible		Fort	

2.2.2.1.2 Evaluation subjective: National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (NASA-TLX)

Cette méthode vise à quantifier le niveau de charge mentale moyen ressentie par les participants au cours de l'exécution de la tâche expérimentale (Caroline Martin, 2013).

Ce niveau est estimé subjectivement par les opérateurs. L'échelle utilisée est composée de cinq niveaux (Fig 2-7) (chiffré de 1, pour le niveau de charge mentale le plus faible à 5 pour le niveau de charge mentale le plus élevée) (Caroline Martin, 2013).

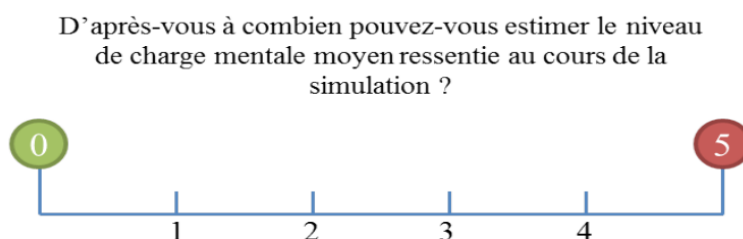


Figure 2-7: Echelle d'évaluation complétée par les participants (Caroline Martin, 2013)

2.2.2.1.3 Evaluation centrée sur des indicateurs caractérisant l'activité de contrôle

Cette évaluation est basée sur trois paramètres :

- **Les fréquences des communications** échangées entre les contrôleurs aériens et les pilotes de la séquence de trafic aérien (Caroline Martin, 2013) en fonction de la conflictualité des situations supervisées.
- **La durée du Maturing-Time** qui correspondant au temps s'écoulant entre la détection du conflit potentiel et le moment où une (des) action(s) de résolution est (sont) mise(s) en place par le contrôleur aérien. Cette durée est calculée par soustraction du temps H1 (entrée des aéronefs sur le secteur) sur le temps H2 (heure de mise en place d'actions de résolution) (Caroline Martin, 2013).
- **Le niveau de sécurité** associé à la situation de trafic aérien supervisée à partir des rapprochements hors-normes des aéronefs en vue des règles de séparation à respecter (5 Miles Nautiques sur le plan horizontal, 1000 pieds sur le plan vertical), ce niveau a pour principal objectif l'illustration du niveau de performance atteint par les opérateurs (Caroline Martin, 2013).

La Commission Locale de Sécurité (CLS) des centres de contrôle En-Route, étant chargée de traiter ces situations, à définie 3 niveau gravité :

Tableau 2-2 : Niveaux de gravité selon la commission locale de sécurité

Séparation sur le plan horizontal (miles nautiques)	>70% de la norme entre 5 et 3,5 NM	<70% de la norme entre 5 et 3,5 NM	<50% de la norme
Niveau de gravité (Hors Norme)	HN	HN 70	HN 50 moins de 2,5NM

Pour le calcul de la performance les valeurs suivantes ont été attribuées :

Tableau 2-3: Pourcentage de perte de sécurité selon Caroline Martin, 2013

Niveau de gravité	Gravité	Pourcentage de perte de sécurité
HN	0.5	5%
HN 70	1.5	15%
HN 50	3	30%

La performance moyenne de la tâche par opérateur est calculée par la relation suivante (Caroline Martin, 2013) :

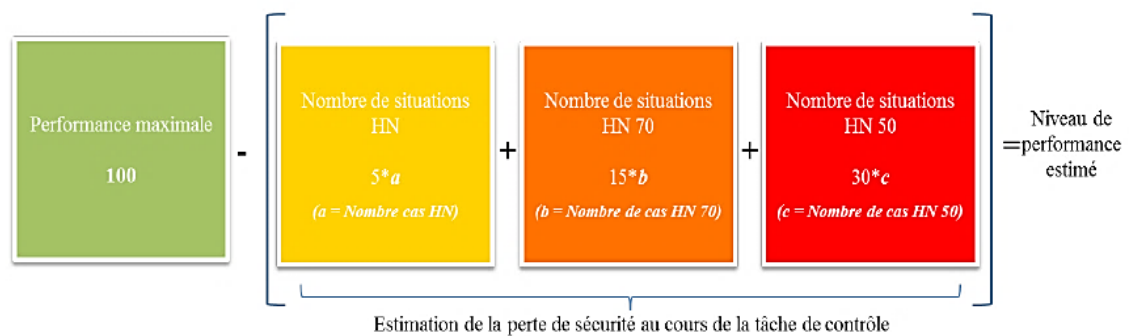


Figure 2-8: Résultats de l'évaluation (Caroline Martin, 2013)

2.2.2.2 Résultats de l'évaluation (Caroline Martin, 2013)

Ces résultats ont été collectés lors d'une étude expérimentale. Le rôle occupé par la sécurité dans le contrôle aérien rend impossible d'envisager une évaluation en situation réelle de contrôle. En situation réelle, il est impossible d'évaluer la gestion de la charge mentale effectuée par des contrôleurs aériens lors de la supervision d'une situation de trafic aérien identique, sans prendre le risque de les perturber.

Les simulations sont effectuées sur un simulateur de trafic aérien par des contrôleurs aériens En-Route qualifiés.

Chaque opérateur a effectué une tâche expérimentale de 45 minutes.

Résultats de l'analyse des données oculaires (eye-tracking)

Les indicateurs oculaires sont mesurés dans trois situations différentes

- Hors-Secteur, les aéronefs ne survolent pas le secteur supervisé ;
- Secteur Non-Conflictuel, aucun aéronef n'est en situation critique (conflit) dans le secteur supervisé
- Secteur Conflictuel, le secteur supervisé regroupe plusieurs situations critiques

Fixation :

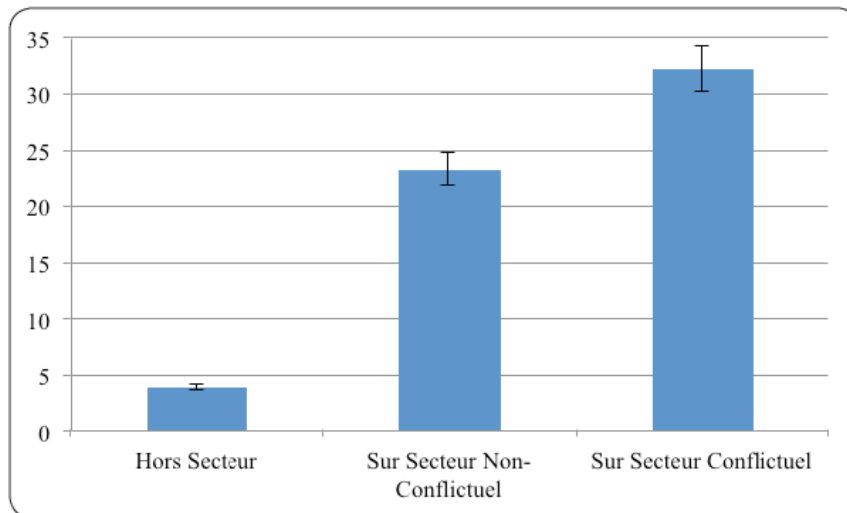


Figure 2-9: Répartition du nombre moyen de fixations oculaires réparties entre les différentes catégories d'aéronefs

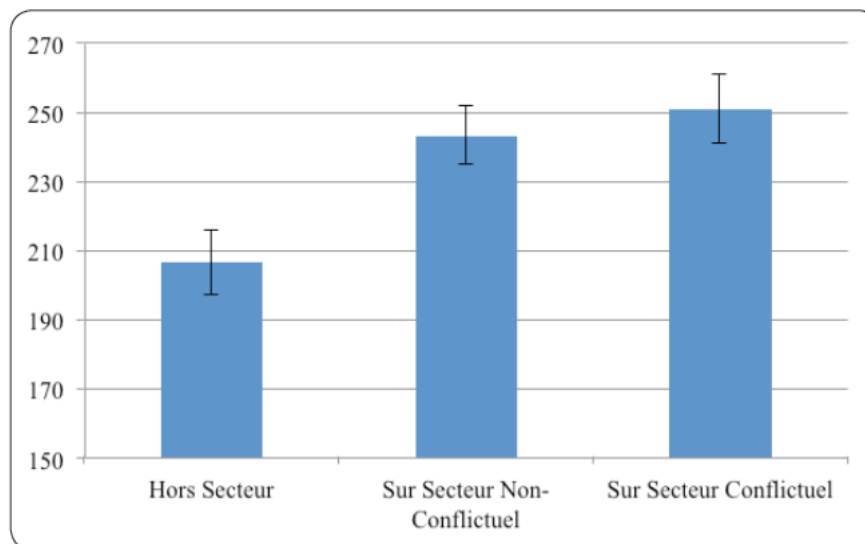


Figure 2-10: Durée moyenne des fixations oculaires en fonction de la catégorie d'aéronefs faisant l'objet des fixations oculaires (millisecondes)

Ces résultats présentés dans la figure 2-9 indiquent le nombre moyen de fixation oculaire sur les aéronefs évoluant dans l'espace aérien simulé. Et ceux présentés dans la figure 2-10 indiquent la durée moyenne des fixations oculaires.

Le premier résultat montre une différence significative, dans le nombre moyen de fixation oculaire, entre les aéronefs Hors Secteur et les aéronefs Sur Secteur Non-Conflictuel, avec une augmentation de 400%, ainsi qu'entre les aéronefs Sur Secteur Non-Conflictuel et les aéronefs Sur Secteur Conflictuel avec une augmentation de 41%. Le deuxième résultat montre une hiérarchie équivalente à celle du préalable.

Seule la présence sur secteur semble avoir un impact significatif sur la durée des fixations oculaires allouées aux aéronefs composant la séquence de trafic aérien supervisée

Dilatation pupillaire :

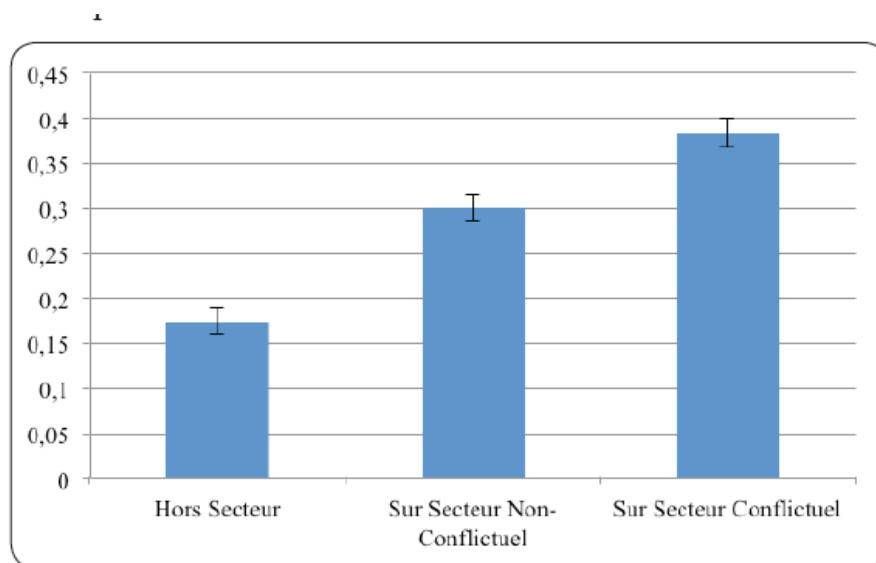


Figure 2-11: Maximum de la dilatation pupillaire moyenne en fonction de la catégorie d'aéronefs visée par les fixations oculaires (score z)

L'analyse de la valeur maximale de la dilatation pupillaire moyenne exerce une hiérarchie équivalente à celle illustrée par l'analyse de nombre de fixations oculaires alloués aux aéronefs ainsi que la durée.

Résultats de NASA-TLX

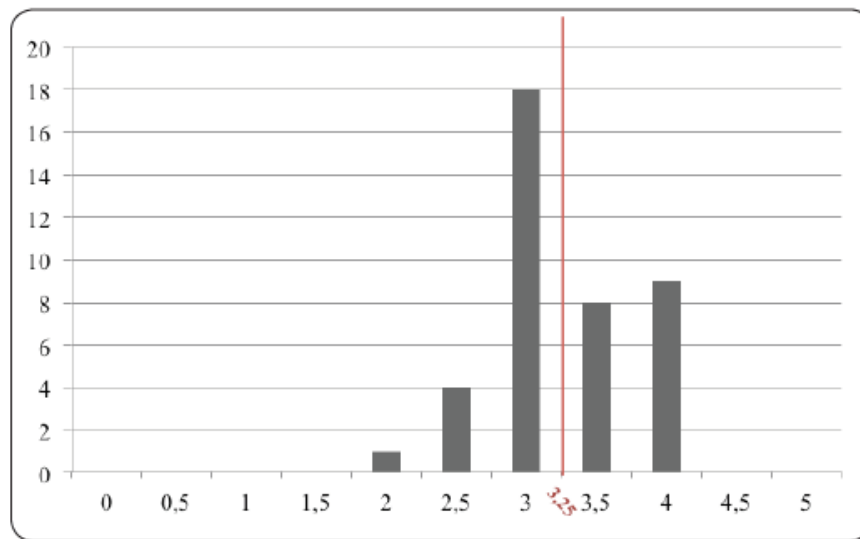


Figure 2-12 : Effectif de participants par valeur de l'échelle d'évaluation subjective du niveau de ressources cognitives mobilisées au cours de l'exécution de la tâche de contrôle expérimentale

Le niveau moyen de ressources cognitives estimé solliciter par les participants est de 3.25/5, soit 65% des ressources cognitives disponibles.

Résultats issus des analyses d'indicateurs caractérisant l'activité de contrôle

➤ Les communications entre contrôleurs aériens et pilotes

Dans cette expérience deux niveaux de difficulté ont été définis :

- Difficulté élevée associée à un nombre d'aéronefs présents sur le secteur potentiellement impliqués dans un conflit supérieur à 13 ;
- Difficulté plus faible pour lequel cet effectif est strictement inférieur à 13.

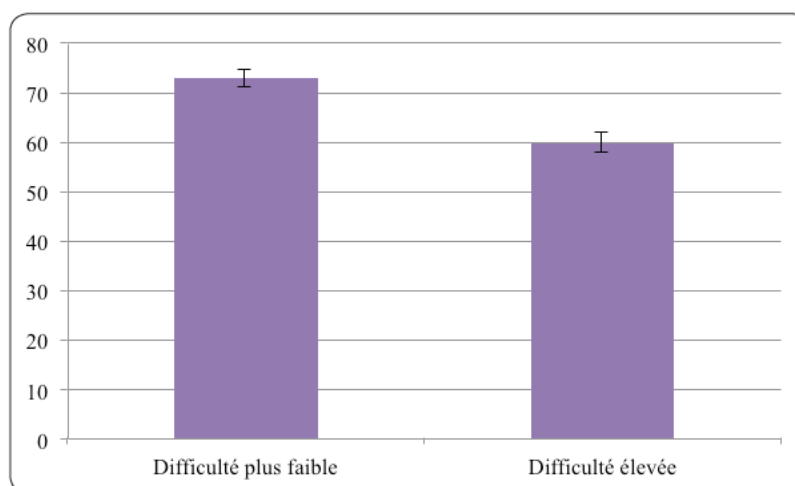


Figure 2-13 : Nombre moyen de communications passées par minute

Les données enregistrées montrent l'influence de la difficulté de la situation supervisée sur le nombre de communication entre les contrôleurs aériens et les pilotes.

➤ **La performance relative à la sécurité d'écoulement du trafic aérien**

Lors de la simulation les contrôleurs aériens ont fait face à un totale de 640 situations potentiellement conflictuelles intégrées aux séquences de trafic aérien supervisées. Les données enregistrées sont les suivantes :

Tableau 2-4: Résultats relatifs à l'évaluation des performances

Niveau de gravité	Nombre	Pourcentage
HN	13	2%
HN70	3	0.4%
HN50	7	1%

Le niveau moyen performance est de 92%.

L'évaluation de la performance moyenne des participants révèle un niveau assez élevé de sécurité (96 %) associée à la tâche de contrôle, avec un niveau moyen de performance atteinte de 92%. Ce niveau est toutefois assez faible par rapport à la performance visée et atteinte en opérationnel. Caroline Martin explique par le fait qu'en simulation (comme en formation) les contrôleurs aériens ont tendance à prendre plus de risque sur la façon dont ils gèrent le trafic aérien et notamment les situations conflictuelles

La durée du Maturing-Time

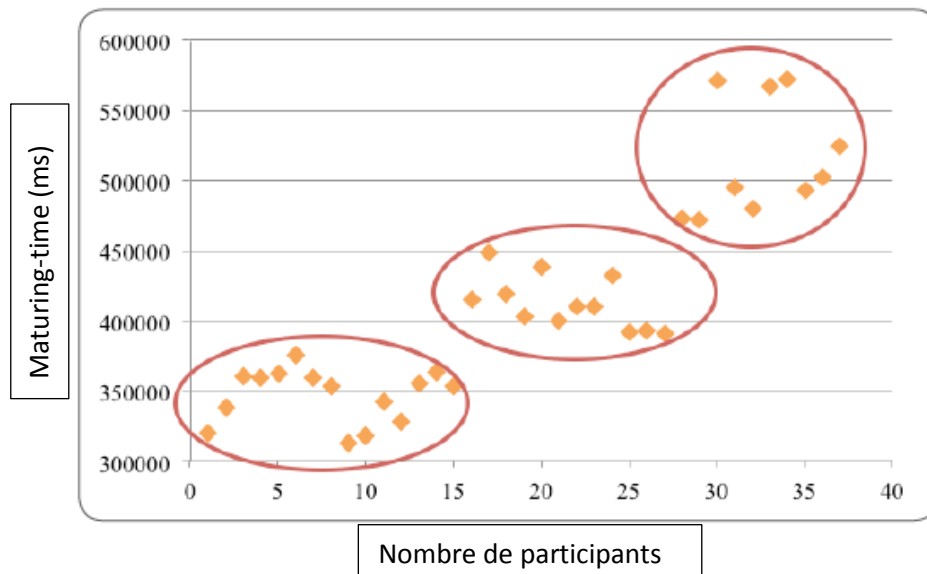


Figure 2-14 : Valeur moyenne de Maturing-Time des participants (millisecondes)

Les résultats montrent une dispersion importante de la valeur du Maturing-Time. Elle passe de 30000 ms à presque jusqu'au double (60000 ms).

2.3 Synthèse et Interprétation

L'analyse des données révèle que la tâche de contrôle aérien exige une importante mobilisation des ressources cognitives et attentionnelle. Ce qui confirme notre problématique qui pointe l'important niveau de charge mentale géré par les contrôleurs aériens En-Route au cours de leur activité de travail quotidienne.

L'analyse des données oculaires centrée sur l'analyse, de nombre et durée, des fixations oculaires et de la dilatation maximale pupillaire a montré que la présence d'aéronef sur le secteur, ainsi que son implication dans une situation conflictuelle, impacteraient significativement la part d'attention allouée par le contrôleur aérien à un aéronef. Les aéronefs Hors-Secteur sont les moins coûteux puisque ne requièrent aucune action de la part des contrôleurs aériens, mais aussi que les aéronefs Sur Secteur Conflictuels, d'une difficulté jugée subjectivement comme moyenne, sont les plus sollicitant d'un point de vue cognitif car leur supervision nécessite des mécanismes de détection et de résolution de problèmes les plus coûteux.

L'analyse de communications entre contrôleurs aériens et pilotes souligne le caractère adaptatif du contrôleur aérien en fonction du niveau d'exigences de la tâche qui s'impose à lui. Ainsi, plus

le niveau de difficulté associé au trafic aérien à superviser est élevé, plus la densité des communications serait faible. Quand la charge mentale ressentie augmente, l'opérateur a tendance à utiliser des stratégies économiques (Sperandio, 1988).

La dispersion observée dans le Maturing-Time montre la variabilité interindividuelle relative aux stratégies opératoires mises en place par les contrôleurs aériens pour résoudre les situations de conflits. Certaines stratégies sont susceptibles de remettre en cause la sécurité de l'écoulement du trafic aérien sur le secteur dont ils sont en charge de superviser.

2.4 Conclusion

En conclusion, les résultats de ce chapitre montrent clairement que les contrôleurs aériens sont menés à gérer des situations dynamiques imposant une importante charge mentale qui influence significativement leur choix de stratégie opérationnelle et leur performance. En particulier, la saturation des ressources cognitives et attentionnelles peut conduire à des phénomènes de tunnelisation attentionnelle où les contrôleurs aériens se focalisent excessivement sur la réalisation d'une tâche au détriment des autres. Des phénomènes antagonistes de divagation attentionnelle, caractérisés par une baisse du niveau attentionnel, existent également.

Le chapitre suivant aura pour but de démontrer les conséquences engendrées par une telle baisse de concentration sur le contrôleur aérien, étant donné que celui-là doit veiller à accomplir sa tâche principale de contrôle aérien et une tâche supplémentaire de gestion et coordination entre le CCR, l'approche et la tour en cas d'une saturation d'une aire de stationnement.

CHAPITRE 3

Analyse de risques liés au
contrôle aérien,

Résultats et Simulation des
phénomènes dangereux

3 Analyse de risques liés au contrôle aérien, Résultats et Simulation des phénomènes dangereux

Introduction

Afin de mieux apprécier puis maîtriser les risques il est primordial de les évaluer. Une partie de ce chapitre expliquera les deux méthodes utilisées souvent utilisées dans le domaine de l'aéronautique. Une autre sera consacrée à l'application de ces méthodes d'analyse : La première abordera les situations dangereuses possibles, une APR qui convergera par la suite vers notre évènement redouté central. Ce dernier sera étudié explicitement à l'aide du Nœud Papillon pour illustrer le mécanisme des accidents possibles. Pour une troisième partie nous allons approfondir à partir du phénomène le plus critique du nœud pour étudier les phénomènes possibles qui en résulte avec une simulation à l'aide du logiciel PHAST.

3.1 Les méthodes utilisées

3.1.1 Analyse préliminaire de risques

L'analyse Préliminaire de Risque a été développée au début des années 1960 dans les domaines aéronautique et militaire.

L'APR est une technique d'identification et d'analyse de la fréquence du danger qui peut être utilisée lors des phases amont de la conception pour identifier les dangers et évaluer leur criticité.

Comme son nom l'indique, cette méthode n'est pas destinée à traiter en détail la matérialisation des scénarios d'accident, mais plutôt à mettre rapidement en évidence les gros problèmes susceptibles d'être rencontrés pendant l'exploitation du système étudié. Cependant, l'APR peut aussi et même doit être complétée par la plupart des analyses de risques fonctionnelles.

Le tableau 3-1 est un prototype d'APR appliquée dans le domaine aéronautique inspiré des travaux de M. MAZOUNI (Mazouni, 2003).

Tableau 3-1: Prototype d'un tableau d'APR dans le domaine aéronautique (Mazouni, 2003)

Numéro	Phase	Situation dangereuse	Causes	Elément déclencheur	Conséquences	Risque	Recommandations

La démarche d'APR se déroule suivant les étapes suivantes :

- Spécification de l'élément à étudier. (Vol aéronef interaction aéronef/contrôle)
- Identification des phases durant lesquelles une situation dangereuse est possible.
- Identification des causes menantes aux situations dangereuses
- Identification des situations dangereuses.
- Identification des conditions, événements indésirables, pannes ou erreurs menant à une situation d'accident.
- Identification des accidents/incidents potentiels.
- Evaluation du risque.
- Proposition de mesures préventives.
- Suivi de l'application de ces mesures.

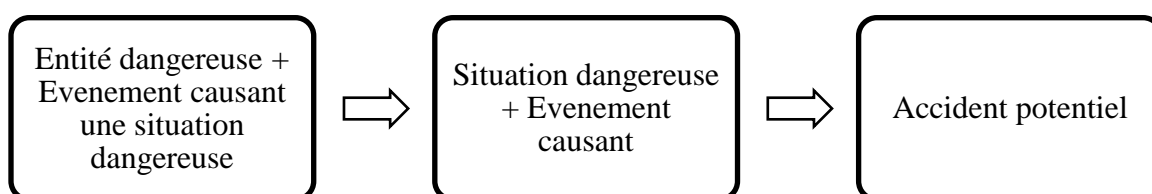


Figure 3-1: Schéma expliquant la logique de l'APR (GBM et Qualité)

Afin de mener à bien l'étape de l'évaluation de risque, l'OACI a proposé une méthode d'évaluation et d'atténuation du risque comportant quatre sous-étapes :

- b) Probabilité du risque de sécurité ;
- c) Gravité du risque de sécurité ;
- d) Tolérabilité du risque de sécurité ;
- e) Gestion du risque de sécurité (atténuation).

Probabilité des risques de sécurité

Le processus de maîtrise des risques de sécurité commence par l'évaluation de la probabilité du risque de sécurité qui est définie comme probabilité ou fréquence d'occurrence de la situation dangereuse (OACI 2013). Afin de nous aider à déterminer cette probabilité, nous nous sommes posé les questions suivantes :

- Existe-t-il un historique d'occurrences similaires à celle qui est considérée ou s'agit-il d'un cas isolé ?
- D'autres équipements ou éléments du même type pourraient-ils présenter des défauts semblables ?
- Au sein du personnel, quel est le nombre de personnes qui appliquent les procédures considérées ou qui y sont soumises ?

Le tableau 3-2 est un tableau type de probabilité de risque de sécurité, en l'occurrence un tableau en cinq points. Ce tableau comprend cinq catégories, pour indiquer la probabilité que survienne un événement dangereux ou une situation dangereuse, la description de chaque catégorie et l'attribution d'une valeur à chaque catégorie.

Tableau 3-2 : Tableau de probabilité d'un risque de sécurité (OACI, 2013)

Probabilité	Signification	Valeur
Fréquent	Susceptible de se produire de nombreuses fois (s'est produit fréquemment)	5
Occasionnel	Susceptible de se produire parfois (ne s'est pas produit fréquemment)	4
Eloigné	Peu susceptible de se produire, mais possible (s'est produit rarement)	3
Improbable	Très peu susceptible de se produire (on n'a pas connaissance que cela se soit produit)	2
Extrêmement improbable	Il est presque inconcevable que l'événement se produise	1

Gravité d'un risque de sécurité

Une fois achevée l'évaluation de probabilité, la prochaine étape est d'évaluer la gravité du risque de sécurité, en tenant compte des conséquences qui pourraient être liées au danger. La gravité du risque de sécurité est définie comme l'étendue du dommage qui pourrait raisonnablement se produire en conséquence ou comme résultat du danger identifié (OACI 2013). L'évaluation de gravité est basée sur :

- Morts/blessures. Quel pourrait être le nombre de pertes de vies humaines (personnel, passagers, riverains, grand public) ?
- Dommages. Quelle serait l'étendue probable des dommages à des aéronefs, à des biens ou à des équipements ?

L'évaluation de la gravité devrait prendre en considération toutes les conséquences possibles en rapport avec une situation peu sûre ou un objet dangereux, en tenant compte de la pire situation prévisible. Le tableau présente un tableau type de gravité des risques de sécurité. Elle comprend cinq catégories, pour indiquer le niveau de gravité, la description de chaque catégorie, et l'affectation d'une valeur à chaque catégorie.

Tableau 3-3: Tableau de gravité des risques de sécurité (OACI, 2013)

Gravité	Signification	Valeur
Catastrophique	—Équipement détruit — Morts multiples	A
Dangereux	— Importante réduction des marges de sécurité, détresse physique ou charge de travail telle qu'il n'est pas sûr que les opérateurs puissent accomplir leur tâche exactement ou complètement — Blessure grave — Dommage majeur à l'équipement	B
Majeur	— Importante réduction des marges de sécurité, réduction de la capacité des opérateurs de faire face à des conditions de travail défavorables, du fait d'une augmentation de la charge de travail ou comme résultat de conditions compromettant leur efficacité — Incident grave — Blessures à des personnes	C
Mineur	— Nuisance — Limites de fonctionnement — Application de procédures d'urgence — Incident mineur	D
Négligeable	— Peu de conséquences	E

Après combinaison de la probabilité et la gravité nous obtenons cette grille de criticité :

Tableau 3-4: Matrice d'évaluation d'un risque de sécurité

Probabilité du risque	Gravité du risque				
	Catastrophique A	Dangereux B	Majeur C	Mineur D	Négligeable E
Fréquent 5	5A	5B	5C	5D	5E
Occasionnel 4	4A	4B	4C	4D	4E
Eloigné 3	3A	3B	3C	3D	3E
Improbable 2	2A	2B	2C	2D	2E
Extrêmement improbable 1	1A	1B	1C	1D	1E

L'indice obtenu à partir de la matrice d'évaluation des risques de sécurité nous renseigne sur la priorité de prendre des mesures correctives/préventives selon la figure 3-2 où Les risques de sécurité sont appréciés conceptuellement comme étant acceptables, tolérables ou intolérables.

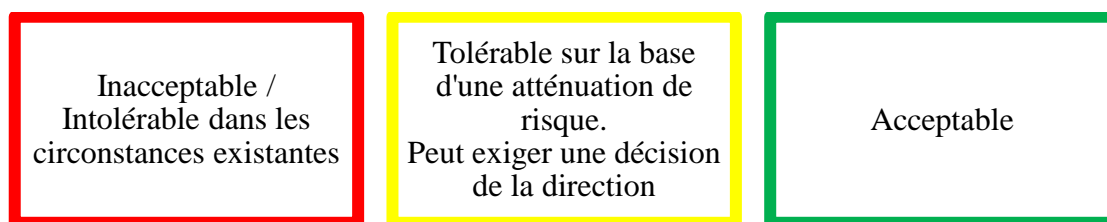


Figure 3-2: Priorité d'action selon l'indice de sécurité

3.1.2 Le Nœud Papillon

Le nœud-papillon est une représentation sous formes arborescentes, dont le centre est occupé par un événement dont les causes sont développées à gauche et les conséquences à droite. Cette généralité un peu vague recouvre des interprétations assez divergentes. En matière d'analyse de risques, a priori le nœud-papillon est la représentation sur un même document d'un arbre de défaillance/cause et d'un arbre d'événement construit sur le même évènement.

Cette représentation a le mérite de contenir beaucoup d'informations sous une forme très synthétique, et de permettre à la fois une vue d'ensemble ou de focaliser sur telle ou telle branche, ainsi que de conduire des calculs de probabilités ou de dégager l'architecture. Sur les branches de cette représentation, on peut placer des barrières : sur la partie gauche, des barrières de prévention qui peuvent prévenir la survenue de l'évènement central, et sur la partie droite des barrières de protection qui peuvent en limiter les conséquences.

Arbre des défaillances :

L'analyse par arbre des défaillances fut historiquement la première méthode mise au point en vue de procéder à un examen systématique des risques. Elle a été élaborée au début des années 1960 par la compagnie américaine Bell Telephone et fut expérimentée pour l'évaluation de la sécurité des systèmes de tir de missiles (INERIS-DRE, 2006).

L'analyse par arbre de défaillances est une méthode de type déductif. Il s'agit, à partir d'un événement redouté défini a priori, de déterminer les enchaînements d'évènements ou combinaisons d'évènements pouvant finalement conduire à cet événement. Cette analyse permet de remonter de causes en causes jusqu'aux évènements de base susceptibles d'être à l'origine de l'évènement redouté.

L'élaboration de l'arbre de défaillance suit le déroulement présenté dans la figure 3-3.

La recherche systématique des causes immédiates, nécessaires et suffisantes (INS) est donc à la base de la construction de l'arbre.

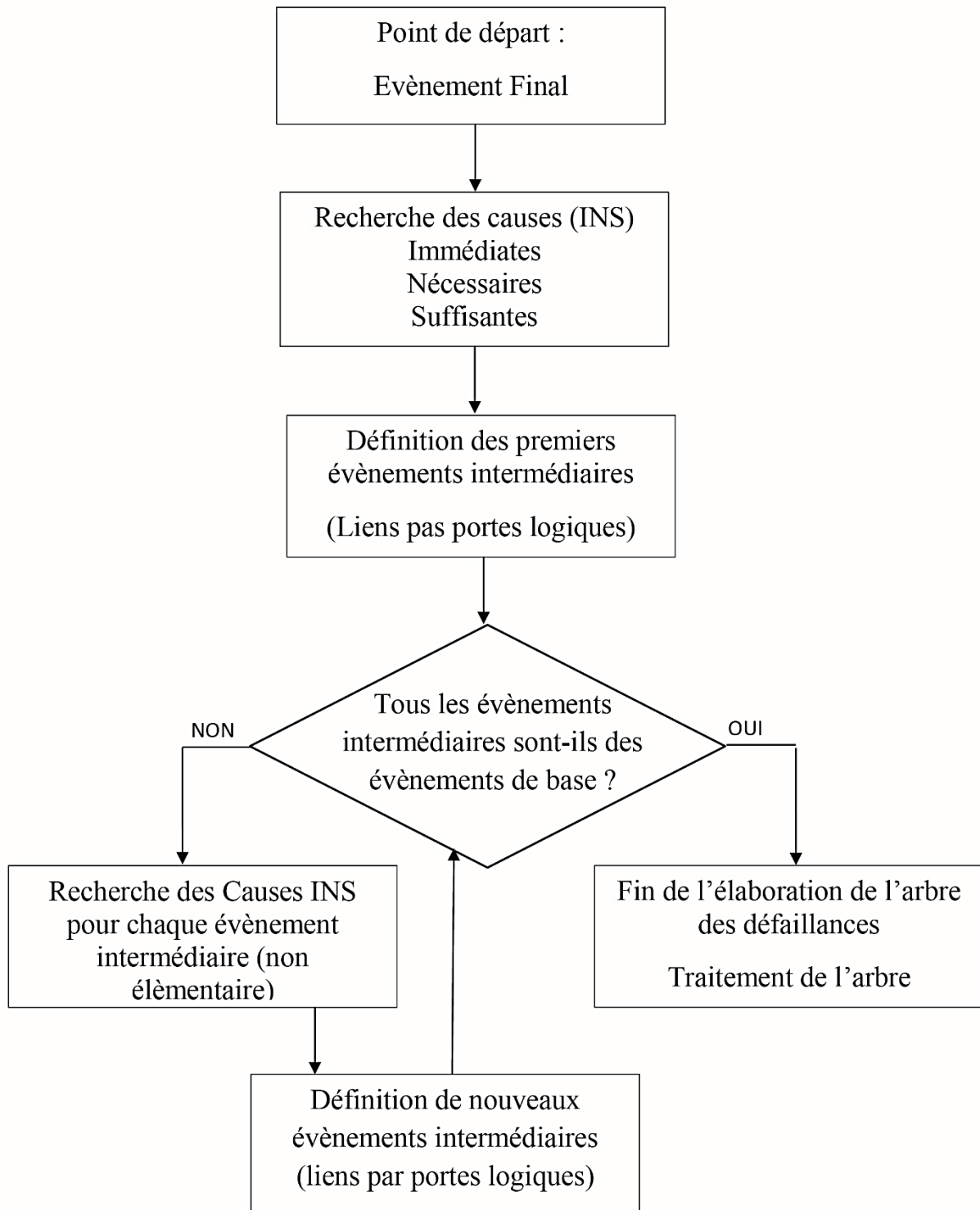


Figure 3-3: Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances. Source (INERIS - DRA, 2006)

Arbre des évènements :

L'analyse par arbre d'évènements a été développée au début des années 1970 pour l'évaluation du risque lié aux centrales nucléaires à eau légère (INERIS-DRE, 2006).

A partir d'un événement initiateur ou d'une défaillance d'origine, l'analyse par arbre d'évènements permet donc d'estimer la dérive du système en envisageant de manière systématique le fonctionnement ou la défaillance des dispositifs de détection, d'alarme, de prévention, de protection ou d'intervention...

Evaluation de la probabilité :

Sur la base des nœuds papillon réalisés, l'évaluation de la probabilité peut être faite selon trois méthodes :

- Qualitative : acceptable uniquement pour les A simples
- Semi-quantitative : à partir des valeurs de fréquence d'occurrence des événements initiateurs et en tenant compte de la décote apportée par les éventuelles MMR de prévention compte tenu du niveau de confiance accordé.
- Quantitative : quand le REX et les bases de données le permettent.

Le tableau 3-5 est l'échelle de probabilité accrédité par le bureau d'exploitation VERITAS :

Tableau 3-5: Echelle de probabilité – Nœud Papillon. (Source : VERITAS, 2018)

Niveau de fréquence	E	D	C	B	A
Qualitative	Possible mais extrêmement peu probable N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'installations	Très improbable S'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité	Improbable S'est déjà produit dans secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité	Probable S'est déjà produit et/ou peut se reproduire pendant la durée de vie de l'installation	Courant S'est produit sur site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation malgré d'éventuelles mesures correctrices
½ quantitative	Cette échelle est intermédiaire entre les échelles qualitative et quantitative, et permet de tenir compte des mesures de maîtrise des risques mises en place				
Quantitative (par unité et par an)		10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²

Evaluation de la gravité :

Pour les rapprochements, entre aéronefs, en vol (AIRProx) la Commission Locale de Sécurité (CLS) des centres de contrôle aérien En-Route à définie 3 niveau gravité

Tableau 3-6: Evaluation de la gravité - Noeud Papillon

Séparation sur le plan horizontal (miles nautiques)	>70% de la norme entre 5 et 3,5 NM	<70% de la norme entre 5 et 3,5 NM	<50% de la norme
Niveau de gravité (Hors Norme)	HN	HN 70	HN 50 moins de 2,5 NM

Evaluation de la cinétique :

Afin de mieux évaluer le risque aéronautique, nous avons intégré un nouveau paramètre : la cinétique.

La cinétique est à relier au temps d'atteinte des cibles par les effets. Son échelle retenue compte deux niveaux :

Tableau 3-7 : Echelle de cinétique

Cinétique	Niveau de la cinétique	Explication
Cinétique lente	A	Le développement du phénomène accidentel, à partir de sa détection, est suffisamment lent pour permettre de protéger les populations exposées avant qu'elles ne soient atteintes.
Cinétique rapide	B	Le développement du phénomène accidentel, à partir de sa détection, ne permet pas de protéger les populations exposées avant qu'elles ne soient atteintes.

Bilan de l'analyse des risques :

Nous avons opté pour une arborescence de criticité inspirée de l'arborescence de la norme ISO 13849-1 : 2008. Nous avons défini trois niveaux de tolérabilité de risque :

Tableau 3-8: Niveaux de tolérabilité de risque

Risque acceptable	Risque tolérable	Risque inacceptable

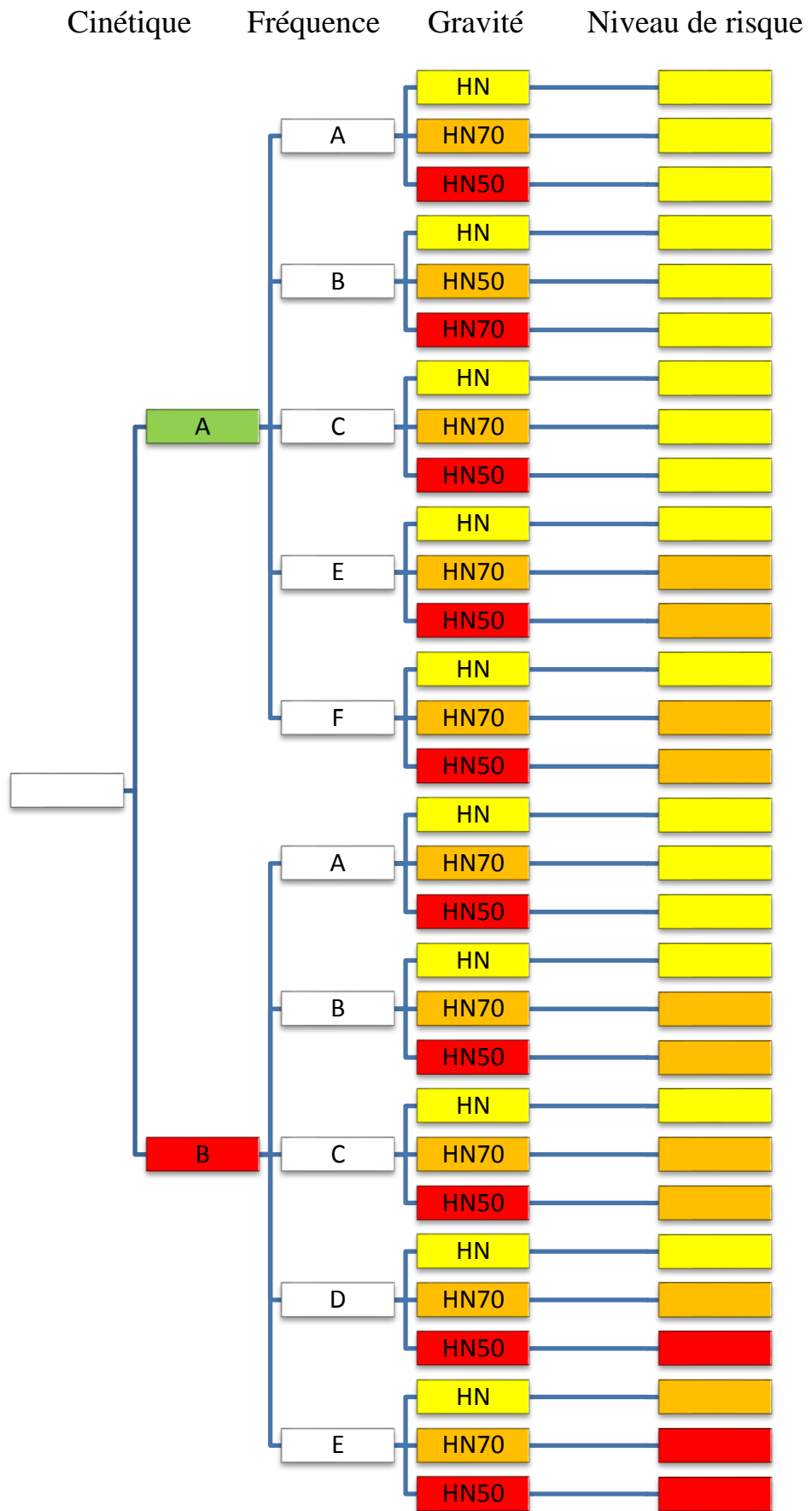


Figure 3-4: Arborescence des niveaux de risque - Noeud Papillon

3.2 Application des méthodes et résultats

3.2.1 Analyse préliminaire de risques

D'après nos recherches bibliographiques qui nous ont mené au recueil des accidents mentionnés dans l'annexe 1, et vu le rôle important que joue la charge mentale exercée sur le contrôleur aérien dans le maintien de la sécurité de l'espace aérien, nous avons choisi d'orienter notre analyse préliminaire vers les situations dangereuses qui peuvent découler de cette charge. Nous avons observé les contrôleurs aériens dans leurs postes de travail, entretenu avec eux et avons structuré l'analyse dans le tableau suivant (Tab 3-9) : (La page suivante)

Tableau 3-9: Tableau de l'APR

N°	Phase	Situation dangereuse	Facteur / cause	Elément déclencheur	Conséquences	Risque			Recommandations
						P	G	C	
01	Décollage/atterrissage	Ignorer une indication par rapport à la circulation au sol	-Ignorance -Manque de concentration -Fatigue	Aéronef passe par une zone avec travaux non terminés	-Dommage à l'aéronef -Atteinte aux humains/matériels	3	D	3D	-Automatiser quelques tâches des contrôleurs aériens -Installer des capteurs de présence pour chaque stand de stationnement -Amélioration dans la formation et la réviser régulièrement -Assister les contrôleurs aériens psychiquement
02		Ignorer un signal d'alerte technique	-Stress -Manque de vigilance	Perte de contrôle au sol		2	B	2B	
03		Donner la mise en route sans avoir un stand prévu dans l'aérodrome d'arrivée	-Négligence -Charge mentale de travail -Non-respect à la réglementation	Arrivé à un aérodrome avec parking saturé	-Être en attente (in the air) -Consommation kérosène et augmenter la durée de vol	3	D	3D	
04	En mouvement (sol)	Mettre les aéronefs dans le taxiway		Passer par le taxiway	- Collision avec un autre aéronef / véhicule ou poste satellite	3	D	3D	
05	En route	Oublier une insertion/suppression		Fournir les fréquences d'une	-Retard imprévu d'un ou plusieurs	4	E	4E	-Alléger la charge par intégrer plus de contrôleurs

		d'une nouvelle route		ancienne route	vols				aériens
06		Donner de mauvaises instructions à l'aéronef		Intercepter la route d'un autre vol Fournir des informations erronées (météo, obstacle, ...)	-Crash dans un endroit rural	2	A	2A	-Instaurer des procédures écrites et strictes pour orienter les opérations au sol
07		-Saturation de l'espace aérien			-Airprox	4	A	4A	
					-Crash dans un endroit urbain	3	A	3A	
					-Dommages sans crash	2	B	2B	
08	Toutes les phases	Malentendu entre contrôleur CCR et contrôleur de tour de contrôle		Déroutement Pilote de bord ne suit pas les instructions du contrôleur aérien	-Retards imprévus	2	E	2E	
09		Malentendus entre le contrôleur aérien et le Pilote de bord			-Atteinte aux humains/matériels	3	B	3B	

Nous remarquons que deux parmi les 9 situations détectées nécessitent des mesures d'atténuation de risque immédiates notamment l'instauration d'une procédure pour guider des tâches spécifiques. Ces situations se trouvent dans la phase « En-Route », par conséquent, et pour mieux cerner les causes, nous allons nous approfondir à l'aide de la méthode « Nœud de papillon » appliquée sur l'évènement le plus critique de cette phase, L' AIRProx.

3.2.2 Nœud Papillon

Les résultats de l'APR montrent la phase critique dans le contrôle aérien est le contrôle En-Route et l'évènement redouté centrale est l' AIRProx.

Calcul de la fréquence :

Les statistiques de l'ENNA révèlent que :

Tableau 3-10: Nombre d'occurrence des AIRProx (source : ENNA)

Année	2014	2015	2016	2017	2018
Occurrence / ans	2	3	4	2	1
Moyenne /ans	3 / ans				

Quantification :

Tableau 3-11: Quantification de la criticité d'un AIRProx

Fréquence	Gravité	Cinétique	Niveau de risque
E	HN50	A	Tolérable

3.2.2.1 Arbre de défaillances

En se basant sur les retours d'expérience et les informations recueillis auprès des contrôleurs En-Route au centre de contrôle régional, nous avons élaboré l'arbre de défaillances illustrant les défaillances techniques, organisationnelles et humaines conduisant à un AIRProx (Fig 3-5)

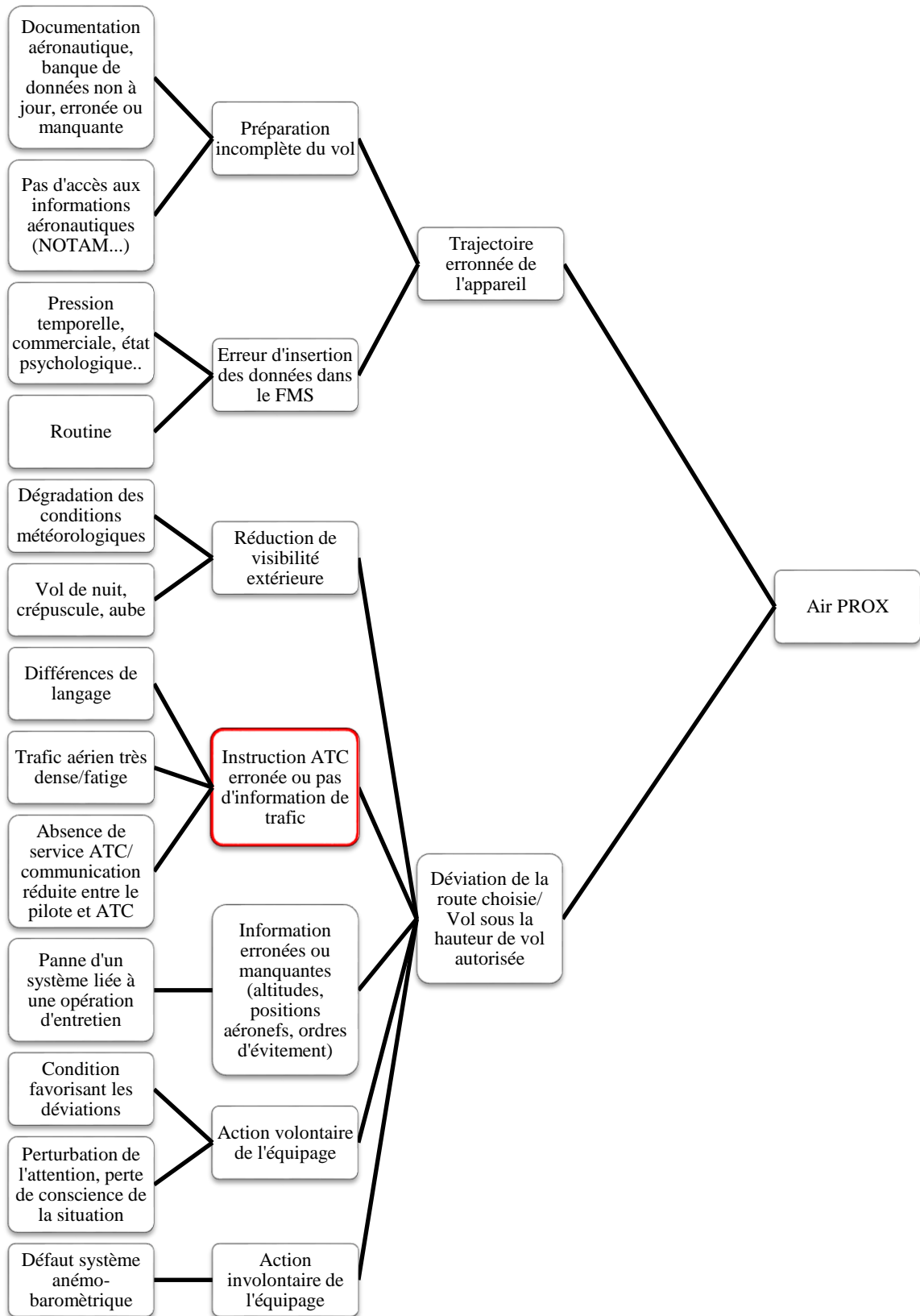


Figure 3-5: Arbre des défaillances

Cet arbre des défaillances illustre l'importance de la fiabilité de service de contrôle aérien ATC. D'où la nécessité d'assurer son efficacité et d'améliorer continuellement son niveau de performance.

3.2.2.2 Arbre des évènements

La figure 3-6 présente l'arbre des évènements :

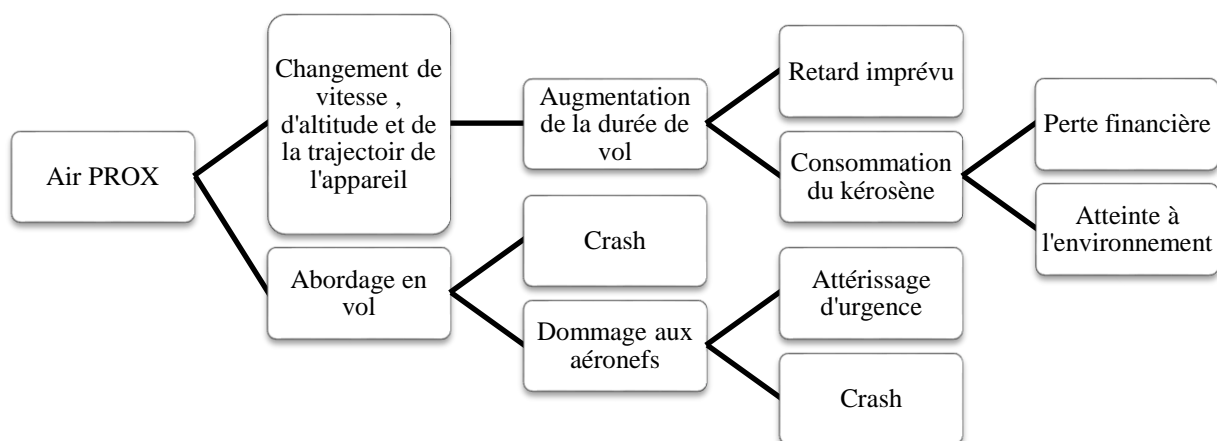


Figure 3-6: Arbres des évènements

Cet arbre d'évènement nous indique que le scénario le plus catastrophique est le crash d'aéronef.

Il a un impact sur des centaines de personnes, les équipements, les infrastructures et l'environnement.

3.3 Simulation de scénario

Après les résultats de la méthode « Nœud Papillon », nous avons jugé l'importance de simuler le scénario le plus catastrophique : Crash de l'aéronef dans un terrain urbain.

Pour ce faire, nous avons choisis le modèle d'aéronef « Boeing 737.800 » que possède la plupart des compagnies aériennes, y compris Air Algérie et Tassili Airlines. De plus, nous avons utilisé le logiciel PHAST version 6.5, logiciel de simulation et d'analyse de risques de procédé développé par Det Norske Veritas (DNV), l'un des principaux prestataires internationaux de services en management des risques. PHAST est employé pour modéliser des écoulements dans l'air/sol à des fins d'études écologiques ou de sécurité industrielle (DNV).

Paramètres et modèle choisi :

Le modèle « catastrophic rupture » est un modèle pessimiste qui simule les pires des cas. Dans notre cas, il simule la rupture du réservoir à cause de choc avec le crash.

Nous l'avons utilisé en assimilant l'aéronef à son réservoir :

- Le boeing 737.800 compte 3 réservoirs : deux réservoirs sous les ailes avec une capacité maximale de 4876L chacun et un réservoir principal au-dessus du fuselage de 16273L. Le volume total est : 26025L
- Le kérosène peut être simulé en choisissant le N-Octane possédant des caractéristiques physique similaire au fuel (DNV Software, 2016).
- En replissant les réservoirs, la pression à l'intérieur est la pression atmosphérique ($P=1\text{atm}$) l'azote injecté maintiens cette pression, et la température est ambiante (prenant $T=15^{\circ}\text{C}$).
- Elévation par rapport au sol : 5m
- Le PHAST délivre la surpression par des pas de 10 m
- Type de terrain : City Center : avec des constructions de hauteurs différentes. L'airprox peut arriver pendant le vol mais ses conséquences dépendent de l'endroit où l'aéronef touche le sol, pour cette raison, nous avons choisi le stade de Beraki comme exemple de terrain. Son ouverture est pour bientôt en 2020 et il pourra accueillir 40000 personnes.

Etapas suivies :

- Injecter les données de produit et les paramètres ;
- Choisir la méthode Storage tank et le scenario Catastrophic Rupture ;
- Insérer la carte dans Raster Image ;
- Exécuter l'opération de simulation pour les conditions météorologiques 5D ;
- Extraire le rapport et les graphes représentant les niveaux de surpression par rapport à la distance et les contours des niveaux de surpression ;

Résultats

Conséquence 1 : Dispersion

Dans l'absence d'une source d'énergie et en cas de rupture totale, dû au choc du crash, le fuel forme une nappe dont le contour ne cesse d'agrandir.

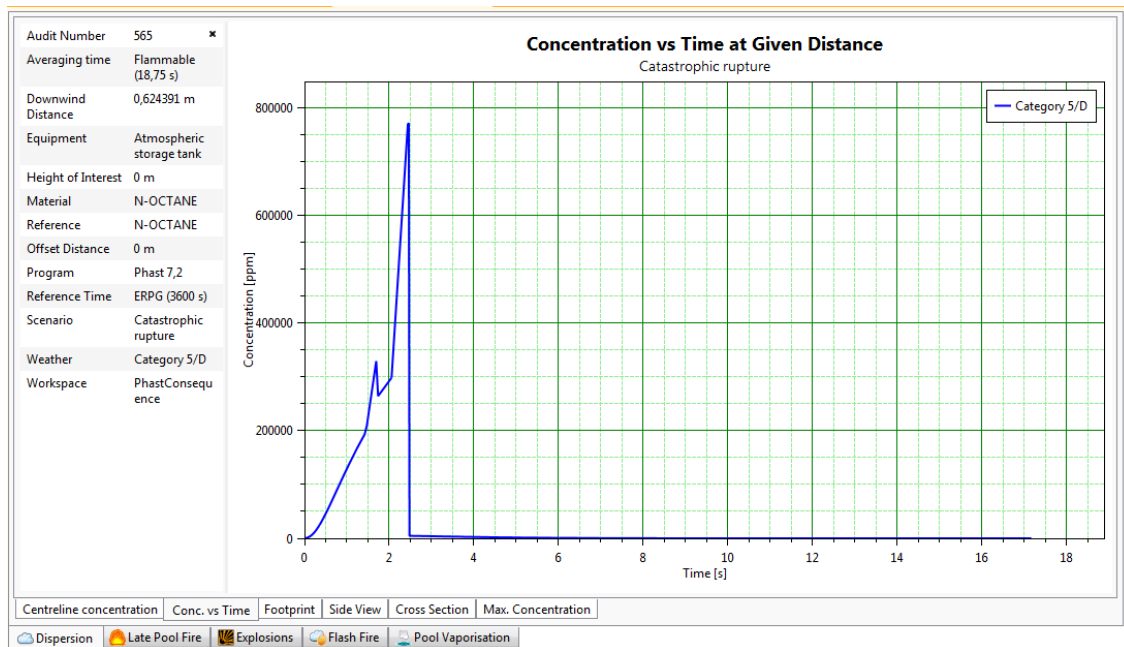


Figure 3-7: Concentration du fuel par rapport au temps - Dispersion

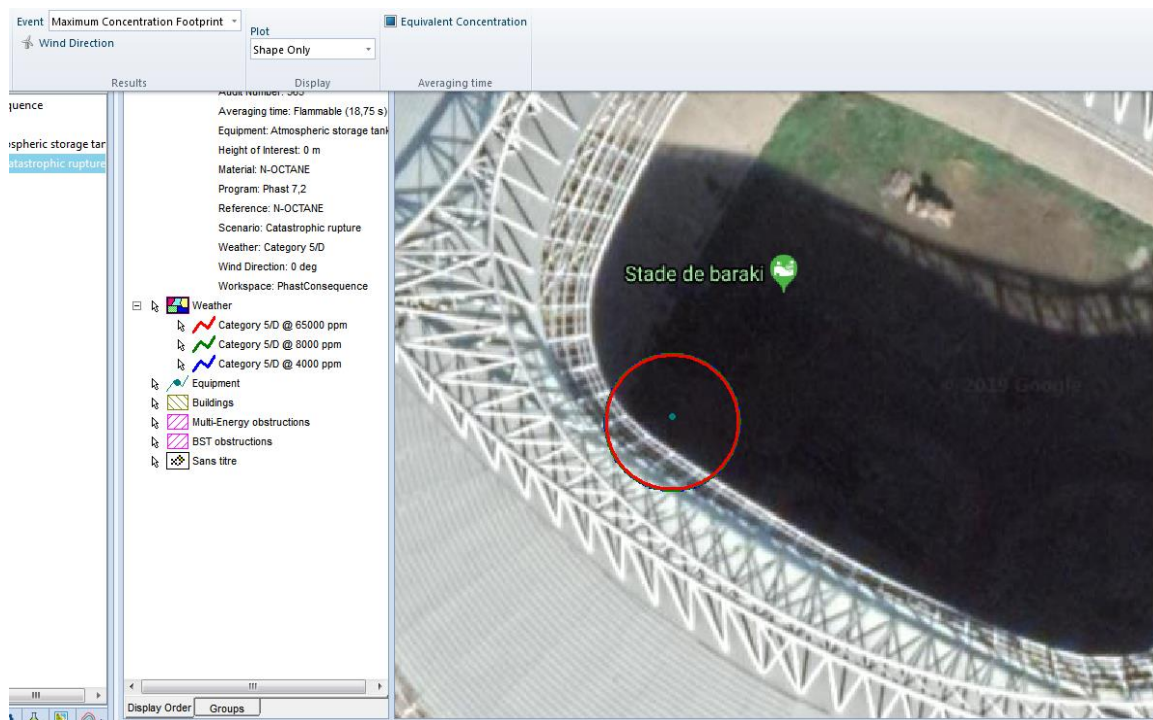


Figure 3-8: Les contours des traces de concentration – Dispersion

Commentaire :

Pour les conditions météorologiques les plus défavorables 5/D la concentration de fuel atteint le pique de 76500ppm en seulement 18s secondes et demi avec une diamètre de 12m.

Conséquence 2 : Feu de nappe tardif (late pool fire)

Dans ce cas, une nappe se forme après la rupture du réservoir, un feu de nappe tardif peut s'amorce à l'aide d'une source d'énergie.

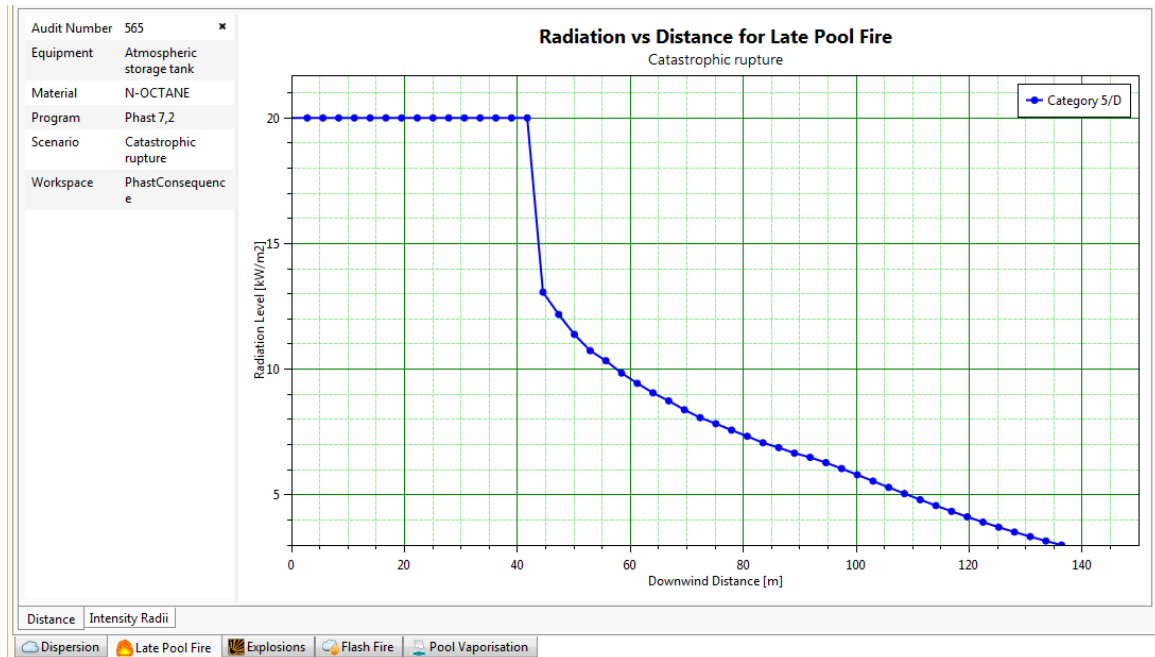


Figure 3-9: Le flux radiatif en fonction de la Distance Cible/front de flamme - Feu de nappe tardif

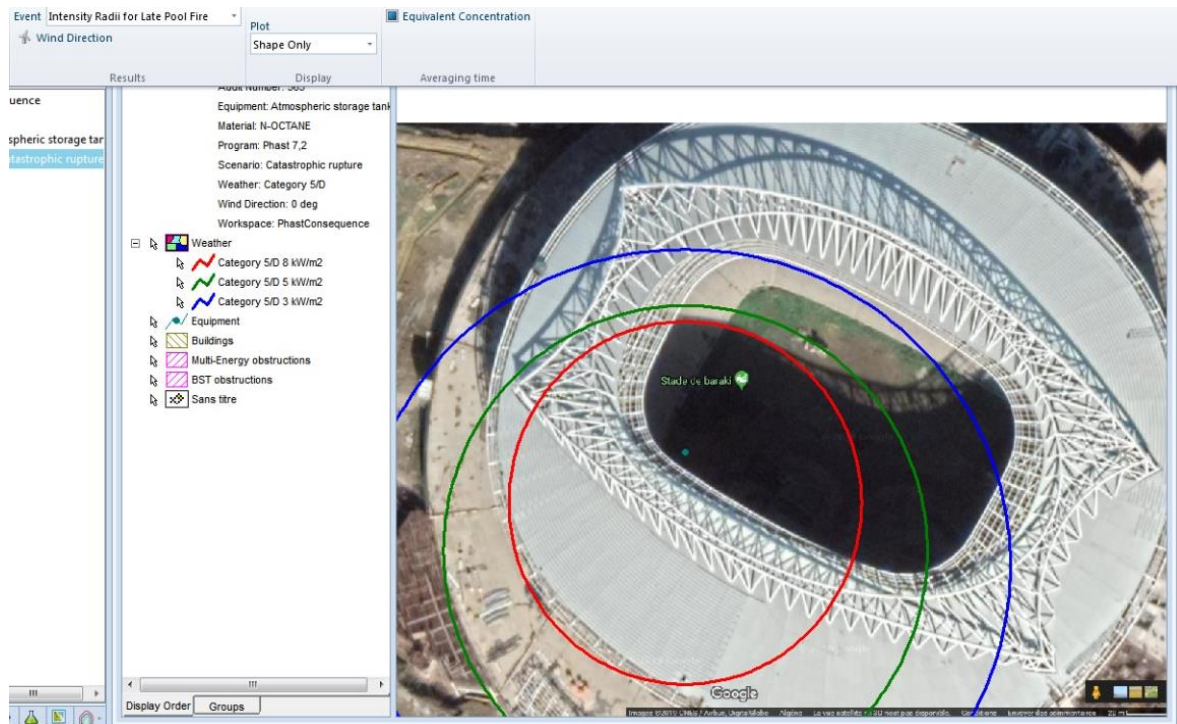


Figure 3-10: Les contours niveaux de flux radiatif - Feu de nappe tardif

Commentaire :

Le flux radiatif le plus élevé, d'une valeur de 20 kW/m^2 , est émis du point source de la fuite et restera constant sur une distance de 42m mais entame une diminution qui tend vers 0 kW/m^2 à une distance de 130m respectivement 5/D.

À partir de la figure 3-10, plus on s'éloigne plus le flux radiatif diminue ce qui explique le fait que plus le flux radiatif est faible plus son périmètre est grand et vice versa. Nous identifions trois zones :

- Zone 1 : les limites d'un flux radiatif de 8 kW/m^2 , avec un diamètre de 110m
- Zone 2 : les limites d'un flux radiatif de 5 kW/m^2 , avec un diamètre de 160m
- Zone 3 : les limites d'un flux radiatif de 3 kW/m^2 , avec un diamètre de 200m

Conséquence 3 : Explosion tardive (Late explosion)

Dans le cas le plus défavorable d'une explosion tardive PHAST nous procure les graphes de distance et contours qui suivent :

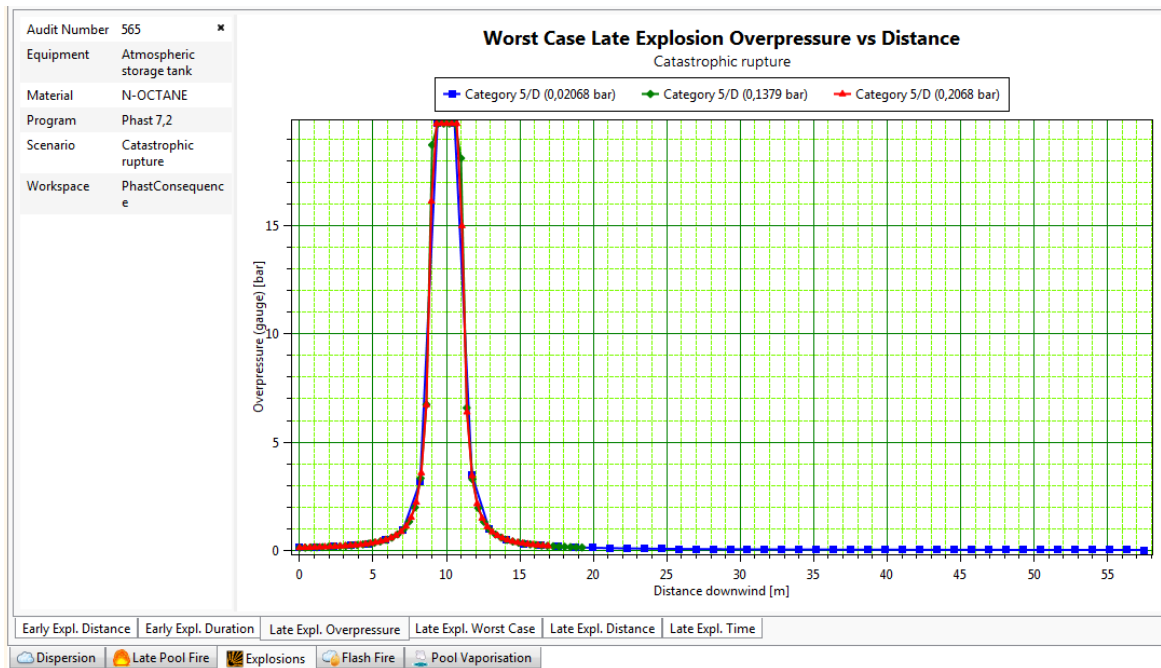


Figure 3-11: Niveau de surpression par rapport à la distance - Explosion tardive

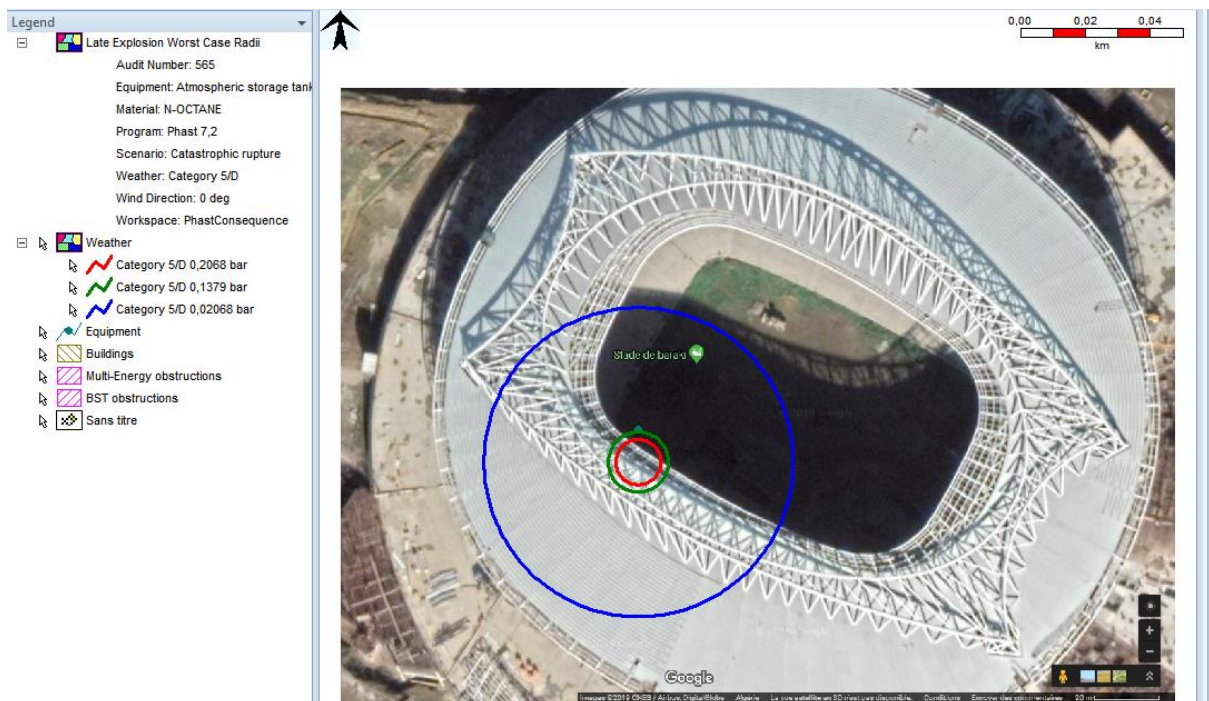


Figure 3-12: Contours des niveaux de surpression par rapport à la distance - Explosion tardive

Commentaire :

La surpression atteint un maxima de 20bar à une distance de 10m du réservoir, supposé être l'endroit de présence d'une source d'ignition. Elle chute librement jusqu'à 2bar après elle continue de diminuer en tendant vers 0bar à 20m du réservoir.

Pour la condition météorologique 5/D les contours différent et nous relevons les niveaux de surpression suivants (Fig 3-12) :

- Une surpression de 0.02068 bar est mesurée sur un contour de 94,9367m de diamètre.
- Une surpression de 0,1379 bar est mesurée sur un contour de 18,4516m de diamètre
- Une surpression de 0,2068 bar est mesurée sur un contour de 13,8343m de diamètre

Interprétation des résultats :

La simulation des conséquences d'un crash d'un « Boeing 737.800 » dans une région urbaine avec le scénario « Catastrophic Rupture » a été effectuée pour la classe de stabilité atmosphérique D, qui représente les conditions neutres existents lorsque la vitesse de la masse d'air en mouvement (vitesse du vent) est supérieure ou égale à la vitesse du nuage, et pour une vitesse de vent égale à 5m/s. Les graphiques et les rapports extraits de cette simulation nous ont procuré trois scénarios essentiels :

- Dispersion et vaporisation de la nappe qui va engendrer des effets très nocifs sur l'atmosphère avec un minimum de 4000ppm de kérosène. Il est à noter que le kérosène peut causer des effets aigus par les trois voies : cutanée, respiratoire et digestive avec un seuil de 200mg/m³ seulement (Mercuria, 2015).
- Un feu de nappe tardif amorcé par une source d'énergie avec des conséquences graves. Trois zones sont identifiées grâce à la simulation de ce :
 - Le seuil de 8 kW/m² correspond au seuil de dégâts graves sur les structures, au seuil d'effets létaux significatifs délimitant la zone de dangers très graves pour la vie humaine et de mettre en place une information optimum du personnel intervenant dans cette zone sur le risque incendie et la conduite à tenir en cas d'accident. Ce seuil permet de déterminer une zone Z2 dans laquelle il convient de limiter toute présence humaine. Aucun poste fixe ne peut être tenu dans cette zone.
 - Le seuil de 5 kW/m² correspond à la destruction des vitres des bâtiments. Il engendre rapidement une douleur chez l'homme (en quelques secondes). Il permet donc de déterminer une zone Z3 dans laquelle il convient impérativement de limiter l'implantation de constructions ou d'ouvrages concernant notamment les tiers.

- Le seuil de 3 kW/m² correspond aux flux thermiques pouvant encore générer des effets graves sur l'homme, et détermine la zone Z4 : Brûlures au premier degré au bout d'environ une minute, douleurs en une vingtaine de secondes et le seuil minimum létal pour une exposition de 2 minutes.
- Une explosion tardive dont les conséquences atteindront les 100m même dans les conditions météorologiques les moins favorables. Il faut également noter que plus on se rapproche de la source plus la surpression diminue.

Conclusion

Notre analyse de risque postée sur l'influence de la charge mentale de travail d'un contrôleur aérien sur sa performance et sa concentration nous a révélé plusieurs scénarii possibles pendant les différentes phases de vols dont le plus critique est l'AIRProx. Nous avons enchaîné avec la méthode Nœud Papillon appliquée à ce même événement puis une simulation à l'aide de logiciel PHAST développé par le bureau d'étude DNV. Cette simulation a porté sur le phénomène jugé le plus désastreux susceptible d'avoir lieu à partir d'un AIRProx, le crash de l'aéronef.

L'occurrence d'un crash d'aéronef dans la région urbaine d'Alger, notamment près de l'aéroport d'Alger Houari Boumediene peut s'avérer très catastrophique. En effet, la ville est pleine de constructions civiles et des installations industrielles. Les pertes humaines et matérielles ne se limitent pas aux passagers et à l'aéronef mais aussi aux habitants de l'endroit de l'accident surtout si cet endroit se trouve être un lieu de rassemblement comme par exemple un stade ou un théâtre. Dans le cas où l'endroit est une usine, ceci implique une autre étude d'effet domino.

CHAPITRE 4

Maîtrise des risques

4 Maîtrise des risques

Introduction

Dans ce chapitre nous allons proposer des solutions pour améliorer la gestion des flux de trafic aériens, la sécurité et la qualité de service de contrôle aérien en Algérie.

Nous avons développé un système intelligent d'aide à la décision, en mesure d'analyser et d'agir sur le trafic aérien géré par le contrôleur aérien, qui va en effet modifier significativement la nature de la tâche de contrôle. La tâche de contrôle initialement dépendante exclusivement de l'opérateur deviendra partiellement collaborative et géré à la fois par les contrôleurs aériens et des automatismes. Aussi nous avons rédigé une procédure pour la gestion de la saturation des aires de stationnement dans le réseau aéroportuaire Algérien.

4.1 Notions sur l'automatisation

4.1.1 Les structures de coopérations homme machine

Dans les systèmes opérateur-machine deux structures de coopérations peuvent être définies, la structure peut être verticale ou horizontale. (Millot, 1999)

Structure verticale

Dans ce type de structure, le système ne peut pas exécuter de solution, mais uniquement apporter une aide à la décision.

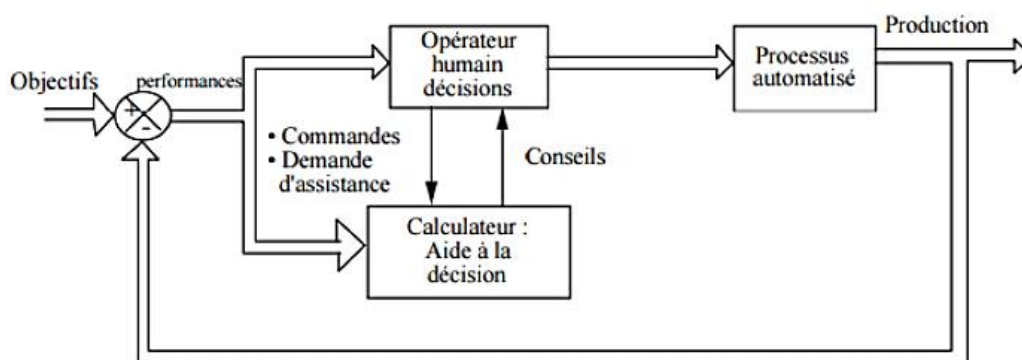


Figure 4-1: Structure de coopération verticale (Millot, 1999)

L'aide apportée par le système peut soit guider l'opérateur dans l'élaboration de la décision, soit apporter directement une solution. Face aux solutions proposées par le système d'aide, l'opérateur peut avoir trois types de réactions (Milot, 1999) :

- S'il n'a pas identifié de solution optimale, il peut être tenté d'appliquer la solution proposée par le système d'aide (Alexandre, 2017).
- S'il a déjà élaboré une solution qui coïncide avec celle proposée par le système d'aide, il sera alors conforté dans sa propre décision (Alexandre, 2017).
- La solution élaborée par l'opérateur ne coïncide pas avec la solution proposée par le système d'aide. Pour prendre la décision, l'opérateur doit vérifier les deux solutions. Pour réaliser cette vérification, le système d'aide doit justifier sa décision en fournissant à l'opérateur des explications sur sa démarche (Alexandre, 2017). Milot (1999) identifie deux niveaux de justification. Au premier niveau, le système d'aide fournit à l'opérateur le diagnostic qui a servi à l'élaboration de la solution. Si le diagnostic n'est pas suffisant, l'opérateur peut descendre au deuxième niveau, qui consiste à fournir les variables prises en compte pour aboutir au diagnostic. Cette vérification peut être plus ou moins complexe et plus ou moins longue. Suivant la dynamique du système l'opérateur peut ne pas avoir suffisamment de temps pour réaliser la vérification.

Structure horizontale

Dans ce type de structure, les tâches sont réparties entre l'homme et la machine, et la machine est en mesure d'exécuter une décision. La structure est expliquée dans la figure 4-2 :

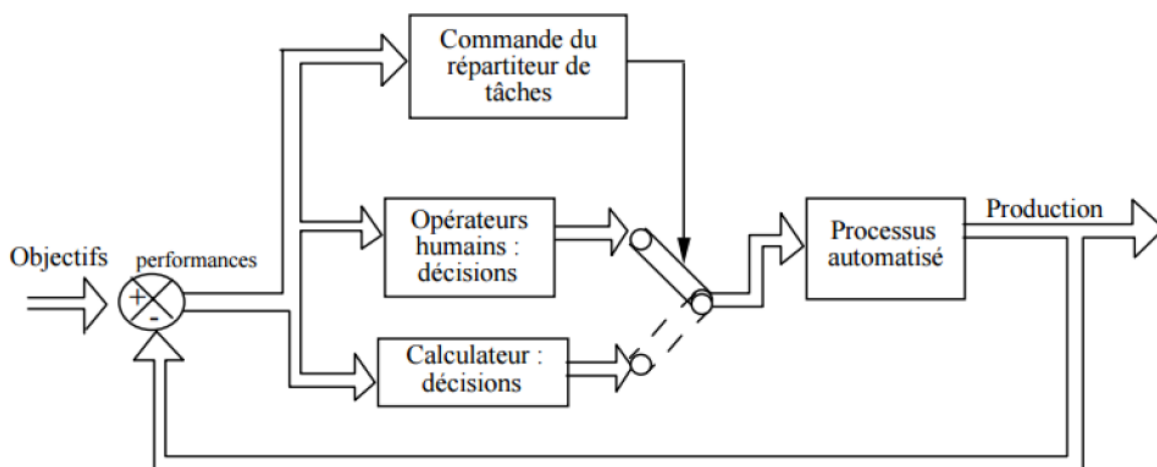


Figure 4-2: Structure horizontale de coopération (Milot, 1999)

Lors de la mise en place d'une coopération horizontale, il est indispensable d'identifier, en premier lieu, les tâches ou fonctions qui peuvent être réalisées par l'opérateur et par le système d'aide (Alexandre, 2017). Selon Royer (1994), il ne faut pas se restreindre aux actions, il faut également s'intéresser aux fonctions de diagnostic, planification, etc. Selon Hoc (1988), il est important de distinguer à un moment donné les tâches qui sont prioritaires et celles qui sont secondaires. Les tâches secondaires doivent être réalisées le plus rapidement possible et en générant un coût minimal pour l'opérateur.

Un agent humain peut donc coopérer avec un agent artificiel, qui peut lui apporter une aide sur la prise de décision ou sur l'exécution de la solution sélectionnée. Dans ce cas, certaines tâches normalement attribuées à l'agent humain sont automatisées. Il convient donc de définir ce qu'est l'automatisation.

4.1.2 Allocation des fonctions

Le terme d'allocation des fonctions est très présent dans les travaux sur le contrôle aérien. L'allocation des fonctions renvoie à la question de la répartition de l'activité entre les différents agents. Elle conditionne la conduite même du système une fois mis en service.

La répartition des fonctions peut être soit statique définie dès la conception du système et ne sera pas modifiée ultérieurement ou soit dynamique réparties au cours de l'activité.

Dans une activité de supervision de système dynamique telle que le contrôle aérien, la situation évolue en permanence. En effet, les contraintes imposées à l'opérateur sont variables dans le temps. Le système doit donc pouvoir s'adapter aux évolutions de la situation et à la survenue d'imprévus. Une répartition statique des tâches entre l'homme et la machine peut limiter cette adaptation (Alexandre, 2017).

4.1.3 Les niveaux d'automatisation des systèmes informatisés

Endsley et Kaber (1999) ont proposé une typologie des niveaux d'automatisation, en prenant en compte la prise d'information, la génération de stratégies, la sélection d'une stratégie et l'implémentation de la stratégie sélectionnée. Dans leur approche, les fonctions peuvent être allouées à l'homme, à la machine ou au deux (Tab.4-1) :

Tableau 4-1: Niveaux d'automatisation (Endsley & Kaber, 1999)

Niveau d'automatisation		Fonction			
		Surveillance	Génération	Sélection	Implémentation
1	Contrôle manuel	Humain (H)	H	H	H
2	Aide à l'action	H/M	H	H	H/M
3	Traitement par lot	H/M	H	H	M
4	Commande partagée	H/M	H/M	H	H/M
5	Aide à la décision	H/M	H/M	H	M
6	Prise de décision mixte	H/M	H/M	H/M	M
7	Système rigide	H/M	M	H	M
8	Prise de décision automatisée	H/M	H/M	M	M
9	Contrôle supervisé	H/M	M	M	M
10	Automatisation complète	Machine (M)	M	M	M

4.2 Détermination de la tâche à automatiser

Dans le domaine du contrôle aérien, où la sécurité est essentielle, l'intégration de nouveaux dispositifs en opérationnel ne peut se faire sans l'assurance d'une plus-value apportée par les changements envisagés. Ce qui rend le choix de la tâche à automatiser (partiellement ou totalement) très délicat.

Pour pallier ce problème, nous avons procédé à des entretiens durant lesquels les contrôleurs aériens du centre de contrôle régional Algérien ont pu détailler leurs tâches opérationnelles et ils ont souligné la tâche dont ils jugent l'automatisation est d'une grande valeur ajoutée au système de contrôle aérien en Algérie.

La tâche sélectionnée est la coordination entre les aéroports est une sous-tâche de la tâche : **intégration des nouveaux vols**.

Pour une bonne automatisation la transition devait passer par une bonne compréhension de tâche afin de concevoir des algorithmes acceptables, nous détaillons la tâche dans les paragraphes suivants.

Intégration des nouveaux vols ; Cette tâche consiste à autoriser les mises en route des aéronefs : Pour chaque vol démarrant d'un aéroport couvert par le secteur dont le contrôleur En Route est en charge, avant de quitter son poste le pilote demande l'autorisation au contrôleur d'approche et ce dernier la demande du contrôleur En Route et en fonction de l'état du trafic aérien le contrôleur En Route autorise le décollage de l'aéronef ou le met en attente. La figure suivante illustre le circuit de communication pour une mise en route.

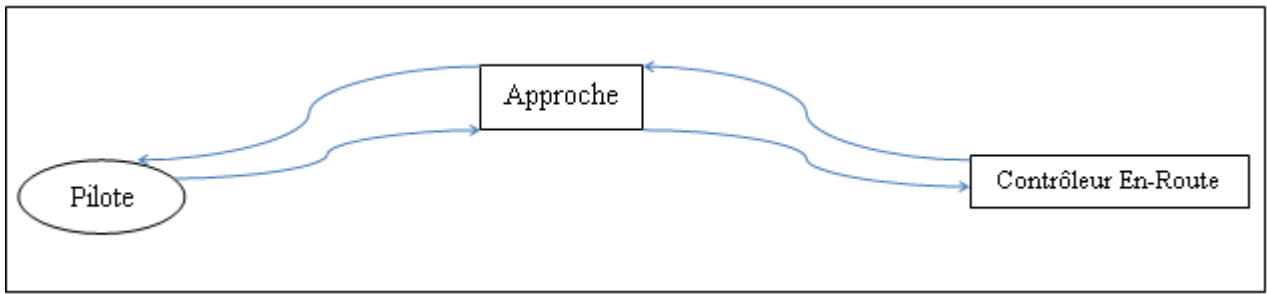


Figure 4-3: Le circuit de communication pour une mise en route

Le système de contrôle Algérien n'intègre aucun organisme ou logiciel qui gèrent le flux de trafic aérien. Ce manque implique une tâche secondaire qui est la coordination entre les aéroports.

Dans le cas d'une saturation parking, communiquée par un NOTAM, dans l'aéroport de destination du vol le circuit de communication devient plus complexe (Fig 4-4). Le contrôleur En-Route, avant d'autoriser la mise en route il contacte l'approche de destination qui, à son tour, contacte la tour. En fonction de la disponibilité des postes de stationnements les contrôleurs de la tour acceptent ou refusent d'accueillir le vol en question.

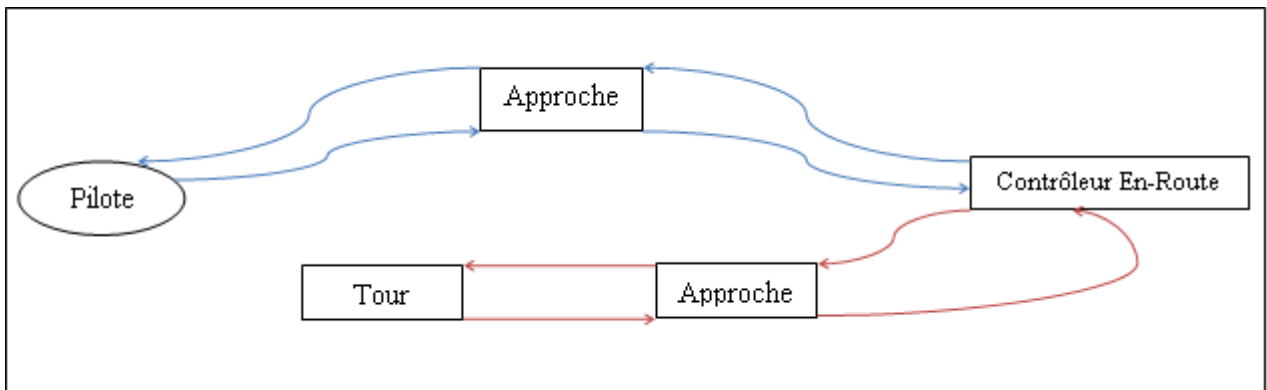


Figure 4-4: Le circuit de communication pour une mise en route dans le cas d'une saturation parking

4.3 Réalisation d'un logiciel pour la gestion des flux

4.3.1 Outils informatiques utilisés

Qu'est-ce que C# ?

Le C# (à prononcer C Sharp) est un langage de programmation orienté objet pour des fins générales. Créé par Microsoft en 2001 et normalisé par ECMA (ECMA -334) et par ISO/CEI (ISO/CEI 23270) il fait partie des plusieurs langages utilisés dans le .NET Framework (Gilles Tourreau, 2010).

C'est un outil de création et développement des logiciels/applications principalement pour Windows ou bien pour d'autres plateformes. Il utilise un IDE (Integrated Development Environment).

Il est très proche de Java et de C++ dont il reprend la syntaxe générale ainsi que les concepts orientés objet. Depuis sa création, et contrairement à d'autres langages de programmation, C# a beaucoup évolué à travers les différentes versions du .NET Framework, en particulier dans la version 3.5 où est introduit un langage de requête intégré appelé LINQ. C# est l'un des programmes qui permet de manipuler la bibliothèque des classes du .NET Framework, plateforme de base permettant d'unifier la conception d'applications Windows ou Web.

4.3.2 Présentation du logiciel TSA et de son algorithme

La capacité des aéroports Algériens est dépassée par la croissance continue de nombre de vols ce qui fait que la tâche secondaire de la tâche principale "intégration de nouveaux vols" est fréquemment imposée. Cette augmentation des exigences de la tâche de contrôle aérien affecte la performance des contrôleurs aériens d'où le logiciel Tactic Slot Allocation vient automatiser la tâche en question en vue d'augmenter le niveau des performances des contrôleurs aériens et de garantir une meilleure sécurité.

Le logiciel Tactic Slot Allocation régule le flux de trafic dans le réseau aéroportuaire Algérien en considérant les aires de stationnement disponibles dans chaque aéroport. TSA alloue dynamiquement des créneaux de décollage (retardés) aux vols régulés. Il permet d'allouer la capacité aéroportuaire et éviter certains nombres de retard ou du moins les planifier.

L'adoption de logiciel TSA n'est pas coûteuse et ne nécessite pas une modification de la méthode de travail des contrôleurs aériens ce qui rend la période de familiarisation courte.

4.3.2.1 La structure de coopération, allocation des fonctions et niveau d'automatisation choisis

Après avoir étudié la nature et le fonctionnement de système de contrôle aérien nous avons pris conscience de son dynamisme et des contraintes auxquelles il est soumis (météorologiques, modification de la vitesse de l'appareil pendant le vol,), ces contraintes sont imprédictibles. Pour gérer la densité des flux traversant son secteur le contrôleur aérien raffine en temps réel toute planification ce qui désigne la "structure de coopération verticale" comme la plus adéquate. Autrement dit, le contrôleur aérien garde toujours son pouvoir de décision et d'action.

En régulant les flux de trafic aérien dans le réseau aéroportuaire notre logiciel automatise totalement la tâche de coordination entre les aérodromes et partiellement la tâche d'intégration de nouveaux vols. Dans cette principale tâche le contrôleur aérien est chargé des fonctions suivantes : la communication avec le pilote, l'analyse de la situation et la prise de décision.

Le logiciel TSA va être un outil d'aide à la décision ou le dernier mot revient toujours au contrôleur aérien, selon les niveaux d'automatisation définie par Endsley et Kaber (1999) (Tab.4-1) le TSA est en cinquième niveau.

4.3.2.2 Données d'entrées

Le logiciel TSA nécessite comme entrée les données suivantes :

- Le nombre et la catégorie des aires de stationnement de chaque aérodrome civil dans le territoire Algérien (33 aérodromes). Ces données ont été collectées via des appels radio (Annexe 2).
- Les informations suivantes pour chaque vol : -call sign, - aérodrome de départ, - heure de départ prévue, heure de départ réelle, - heure d'arrivée prévue - aérodrome de destination, - type d'appareil.

Ces informations sont disponibles dans les plans de vol fournies, sous format Excel, par le service système de centre de contrôle régional.

4.3.3 Algorithme

Description de l'algorithme

Le logiciel TSA est basé sur un algorithme qui comporte quatre principales étapes :

- Définition des créneaux disponibles dans chaque aérodrome.

- Pré-allocation des créneaux² : Une fois calculé le nombre de créneaux disponibles, l'algorithme attribue aux vols des créneaux et déduit les heures à lesquelles ces vols peuvent décoller.
- Ajustement : L'algorithme suit un mécanisme d'ajustement. En prenant compte des nouvelles données en temps réel (nouveaux vols, vols annulés, vols modifier) les créneaux pré-alloués peuvent être améliorés (avancés ou retardés) afin avoir une meilleure exploitation des aires de stationnement.
- Allocation : Dès que la mise en route d'un vol est accordée son créneau n'est plus remis en cause. Autrement dit, l'algorithme prend ce créneau comme une contrainte fixe.

Logigramme (Les deux pages suivantes)

² Un créneau est un intervalle de faible durée pendant lequel le vol est autorisé à atterrir.

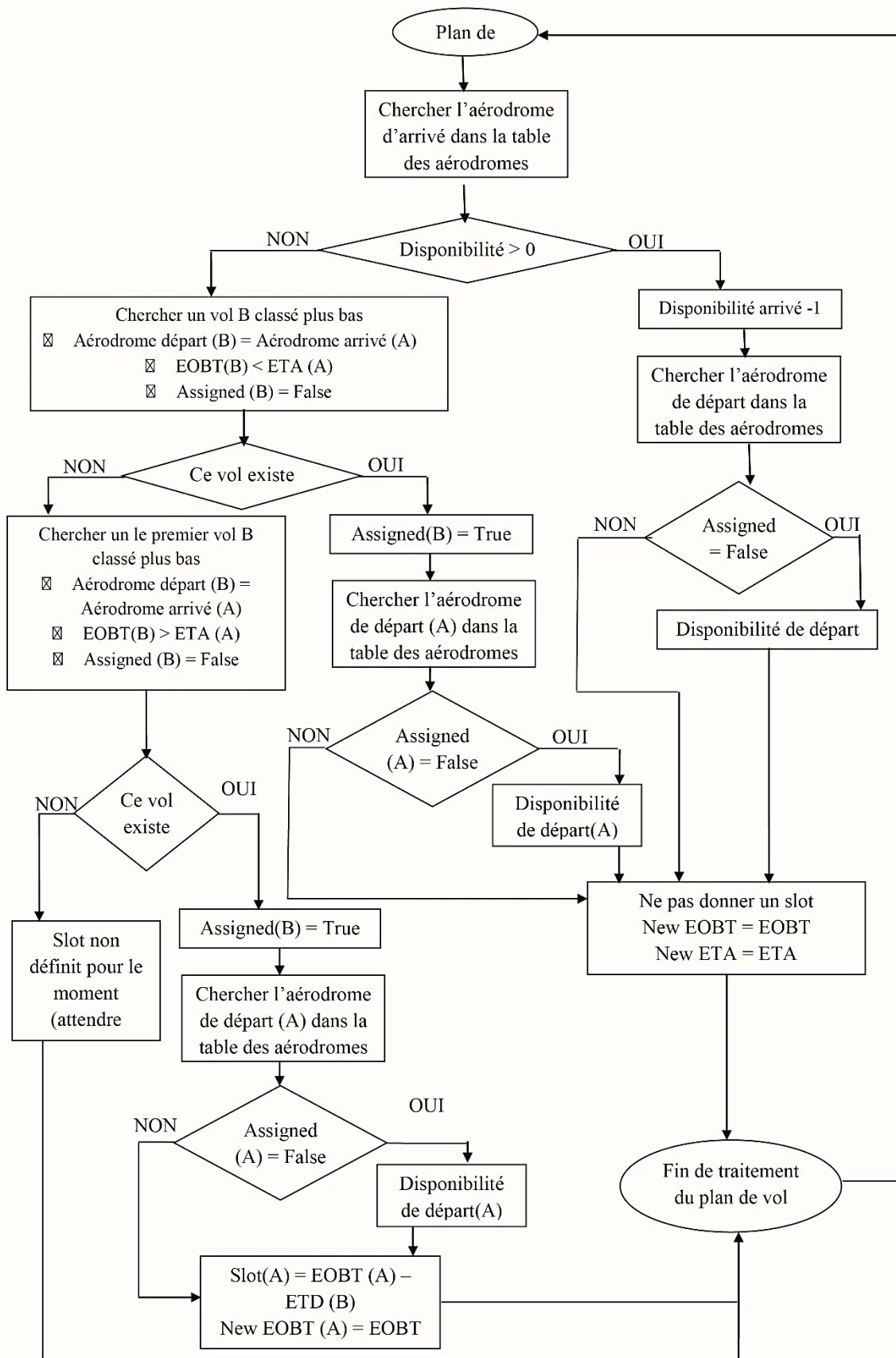


Figure 4-5: Logigramme du traitement d'un seul vol

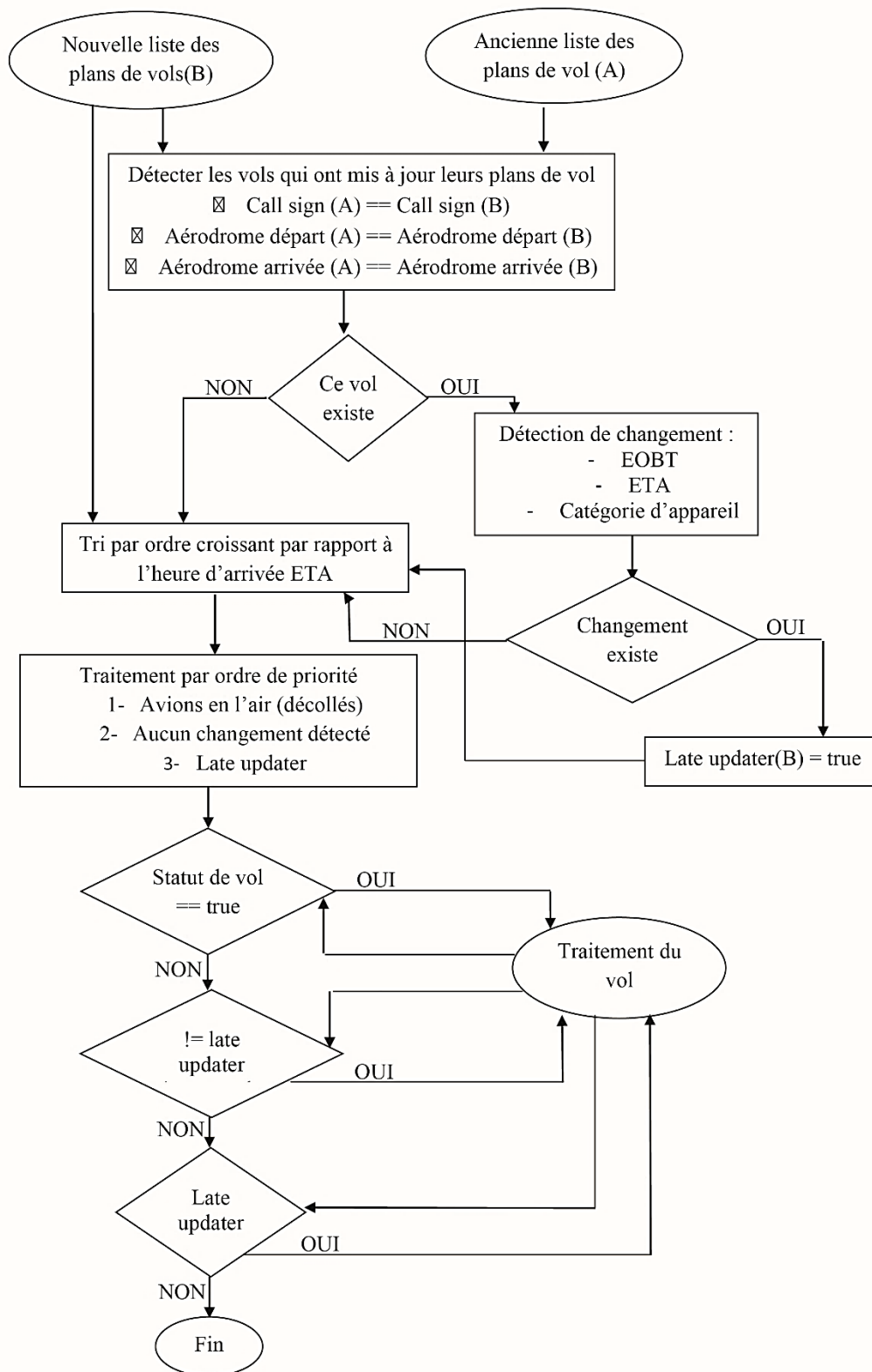


Figure 4-6: Logigramme du traitement d'une liste de vol

4.3.4 Interface

Nous avons opté pour une interface minimaliste et claire qui comporte également des alarmes visuelles. Les vols Slotés sont mis en rouge dans le but d'optimiser le temps pris par le contrôleur pour une prise de décision.

TSA génère une liste de créneaux (Slot Allocation List) qu'il va progressivement remplir au fur et à mesure qu'il reçoit les plans de vols et met à jour les créneaux. Il donne également la possibilité de trier les vols par leur aéroport de départ et d'arrivée afin de donner une vision sur le devenir de la situation.

Pour avoir une bonne traçabilité l'opérateur a la possibilité de sauvegarder les résultats dans un fichier Excel.

Call sign	Depart	EOBT	CTOT	Destination	ETA	New ETA	Slot	note
63	DAAV	07:00:00	07:00:00	DATG	08:00:00	08:00:00	00:00:00	
22	DAAG	07:00:00	07:00:00	DAAT	09:00:00	09:00:00	00:00:00	
26	DAAT	07:00:00	07:00:00	DAUU	09:00:00	09:00:00	00:00:00	
223	DATG	07:00:00	07:00:00	DAON	09:00:00	09:00:00	00:00:00	
263	DAON	07:00:00	07:00:00	DAUU	09:00:00	09:00:00	00:00:00	
29	DAOB	07:00:00	07:00:00	DAAG	09:30:00	09:30:00	00:00:00	
293	DAUZ	07:00:00	07:00:00	DATG	09:30:00	09:30:00	00:00:00	
32	DAAG	07:00:00	07:00:00	DAUU	10:30:00	10:30:00	00:00:00	
14	DAOB	07:00:00	07:00:00	DAAG	10:30:00	10:30:00	00:00:00	
323	DATG	07:00:00	07:00:00	DAAV	10:30:00	10:30:00	00:00:00	
143	DAUZ	07:00:00	07:00:00	DATG	10:30:00	10:30:00	00:00:00	
15	DAOB	07:00:00	07:00:00	DAAT	11:30:00	11:30:00	00:00:00	
153	DAUZ	07:00:00	07:00:00	DAON	11:30:00	11:30:00	00:00:00	
11	DAOB	07:10:00	07:30:00	DAAT	09:40:00	10:00:00	00:20:00	
113	DAOB	07:10:00	07:10:00	DAON	09:40:00	09:40:00	00:00:00	
9	DAOB	07:45:00	07:45:00	DAAG	09:45:00	09:45:00	00:00:00	
93	DAUZ	07:45:00	07:45:00	DATG	09:45:00	09:45:00	00:00:00	
25	DAAG	08:00:00	08:00:00	DAAT	09:00:00	09:00:00	00:00:00	
253	DATG	08:00:00	08:00:00	DAON	09:00:00	09:00:00	00:00:00	
30	DAOB	08:00:00	08:00:00	DAAT	11:30:00	11:30:00	00:00:00	
303	DAUZ	08:00:00	08:00:00	DAON	11:30:00	11:30:00	00:00:00	
23	DAAT	08:30:00	08:30:00	DAUU	07:30:00	07:30:00	00:00:00	
233	DAON	08:30:00	08:30:00	DAAV	07:30:00	07:30:00	00:00:00	
4	DAAG	09:00:00	10:00:00	DAAT	10:00:00	11:00:00	01:00:00	
24	DAOB	09:00:00	09:00:00	DAUU	10:00:00	10:00:00	00:00:00	
8	DAAG	09:00:00	09:00:00	DAAT	10:00:00	10:00:00	00:00:00	

Figure 4-7: Interface de logiciel TSA : Slot Allocation List

4.3.5 Les bénéfices apportés par le logiciel TSA

Une réduction de la charge mentale de travail : la délégation de la tâche de coordination entre les aéroports va automatiquement réduire la charge mentale de travail.

L'amélioration de la performance et augmentation de la capacité de gestion du trafic aérien : la diminution des exigences de la tâche de contrôle aérien réduit considérablement l'écart entre les ressources cognitives et attentionnelles nécessaires à sa bonne exécution et les capacités de l'opérateur, ce qui améliore la performance globale du système.

L'amélioration de la sécurité : le rôle principal du contrôle aérien est de garantir la sécurité pour les passagers, les compagnies aériennes et aussi pour les occupants des espaces survolés. La sécurité de la situation est fortement proportionnelle avec les performances atteintes par les contrôleurs aériens.

Préservation de l'environnement : une meilleure gestion du trafic aérien (une attente réduite avant l'atterrissage, des itinéraires plus efficaces et des profils de vol optimisés) permet d'économiser de 8% à 18% de kérosène (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1999).

L'amélioration de l'image de marque et la qualité de service offerts par les compagnies aériennes en limitant les retards.

La génération des profits financiers pour les aéroports ainsi que pour les compagnies aériennes en exploitant d'une manière maximale les aires de stationnement.

4.3.6 Perspectives

Notre logiciel régule le flux de trafic aérien et assure l'exploitation maximale des aires de stationnement. Des suites de notre travail pourraient se pencher sur le développement d'un algorithme d'optimisation pour une exploitation plus optimale.

Par ailleurs, l'Algérie prépare à intégrer d'ici 2023 l'ACDM (Aéroport Collaborative Decision-Making) dans ces aéroports. L'ACDM est un concept développé par l'organisation de l'aviation civile internationale visant à améliorer la fluidité et la gestion de trafic aérien, l'efficacité et la conscience de la situation et à renforcer la sécurité. Il est basé sur le principe de l'échange de l'information entre les parties prenantes pour une prise de décision en collaboration accrue et davantage automatisée. Pour cela l'Algérie prévoit d'offrir ce marché à des compagnies étrangères spécialisées dans le développement et l'implantation des logiciels spécialisés dans l'ACDM. Nous souhaitons qu'un tel grand projet soit mené par des compétences nationales et l'intégration du logiciel TSA dans les différents aéroports nationaux soit le premier pas.

4.4 Etablir une procédure organisationnelle

4.4.1 La norme ISO 10005

La norme internationale ISO 10006 intitulée Systèmes de management de la qualité — Lignes directrices pour le management de la qualité dans les projets est un recueil de conseils relatif au management de la qualité dans le cadre des projets (ISO, 2018).

Cette norme se veut applicable à toutes sortes de projets, quels que soient leur taille, durée ou domaine et pour tout élément de sortie prévu, qu'il s'agisse d'un processus, d'un produit, d'un service, d'un projet ou d'un contrat, et pour tout type ou taille d'organisme.


Elle convient aux organismes disposant ou non d'un système de management conforme à l'ISO 9001 et fournit des lignes directrices et ne spécifie pas d'exigences et donc n'est pas destinée à certification.

Ce document s'intéresse principalement à la fourniture d'éléments de sortie et ne constitue pas un guide pour la planification du développement d'un système de management de la qualité. Elle est publiée par l'Organisation Internationale de Normalisation et sa version actuelle date de 2018.

4.4.2 Procédure élaborée

La procédure suivante (Tab 4-2) a été élaborée après discussion avec les contrôleurs En Route du CCR afin de bien comprendre et décortiquer leurs tâches en cas de saturation d'un aérodrome.

Tableau 4-2: Procédure de gestion de la saturation des aires de stationnement

	Procédure de Gestion de la Saturation des Aires de Stationnement	Page : 1 sur 3
---	---	-----------------------

Approbation du document		
	Rédacteur	Approbateur
Nom / Prénom		
Fonction		
Date		
0		

Révision du document		
Date de révision	Objet de la révision	Indice de révision
	Version initiale	R0

Sommaire	<ol style="list-style-type: none"> 1. Objet 2. Domaine d’application 3. Documents de référence 4. Définitions et abréviations 5. Responsabilités 6. Contenu <ol style="list-style-type: none"> a. Planification et programme b. Conduite c. Enregistrement et classement d. Qualification et évaluation 7. Annexes 	
-----------------	--	--

1. Objet	<ul style="list-style-type: none"> • La présente procédure a pour objet de fixer les modalités d’autorisation de mise en route et d’attribution des slots pour les vols en cas de saturation de parking de destination. • Elle a pour but de gérer les espaces de stationnement des aéronefs en fonction de la disponibilité des stands et de coordonner entre le CCR – Approche/Tour de chaque aérodrome.
-----------------	--



2. Domaine d'application	Cette procédure s'applique à l'ensemble des vols décollants de/atterrissants dans la FIR d'Alger. A l'exception des activités/vols militaires. Elle se déclenche dès la réception d'un NOTAM de saturation de la part d'un aéroport.
3. Documents de référence	<ul style="list-style-type: none">• Norme ISO 10005 v2018• ATFC Operations Manuel V-23 Document OACI
4. Définitions et abréviation	<ul style="list-style-type: none">• Aéroport : Surface définie sur terre ou sur l'eau (comprenant, éventuellement, bâtiments, installations et matériel), destinée à être utilisée, en totalité ou en partie, pour l'arrivée, le départ et les évolutions des aéronefs à la surface.• Aire de stationnement : Poste de stationnement d'aéronef. Emplacement désigné sur une aire de trafic, destiné à être utilisé pour le stationnement d'un aéronef• Slot : correspond à l'accord obtenu par le transporteur pour opérer son programme de vol vers et au départ d'un aéroport donné.• Plan de vol : Plan de vol. Ensemble de renseignements spécifiés au sujet d'un vol projeté ou d'une partie d'un vol, transmis aux organismes des services de la circulation aérienne.• NOTAM : Avis diffusé par télécommunication et donnant, sur l'établissement, l'état ou la modification d'une installation, d'un service, d'une procédure aéronautique, ou d'un danger pour la navigation aérienne, des renseignements qu'il est essentiel de communiquer à temps au personnel chargé des opérations aériennes.
5. Responsabilités	<ul style="list-style-type: none">• Le responsable FMP a la responsabilité de réviser cette procédure et de veiller à son application au sein du CCR.• Tout contrôleur planner est appelé à appliquer cette procédure en cas de saturation d'un parking d'un aéroport faisant partie du secteur auquel il est affecté.



6. Contenu

a. Planification et programmation

Il n'y a pas de planification avant l'arrivée d'un NOTAM de saturation.

b. Conduite

Si le contrôleur En Route reçoit une demande d'autorisation de mise en route pour un vol dont l'aérodrome de destination est saturé :

- Appeler le contrôleur Approche de l'aérodrome saturé
- Demander l'heure de libération du premier poste de stationnement de la même catégorie d'aéronef (H, M ou L)
- Vérifier que ce poste n'est pas déjà attribué à un autre vol (premier arrivé premier servi)
- Assigner ce poste à cet aéronef et le noter.
- Calculer le nouveau slot (additionner l'EOBT et la différence entre l'heure de libération de poste dans l'aérodrome de destination et l'ETA du vol, puis rajouter 30min de sécurité)
- Appeler le contrôleur de l'aérodrome de départ pour l'informer du nouveau slot

c. Enregistrement et classement

Documenter sous forme d'enregistrement vocal tous les messages et les conserver pendant minimum un mois.

Le département Technique (partie Radar) se charge des enregistrements vocaux.

Le département Système se charge des enregistrements images-Radar.

d. Qualification et évaluation

La qualification est assurée pendant la période de formation.

La procédure doit être auditée et évaluée chaque 3 mois pendant au moins un an.

Conclusion

Les risques aéronautiques sont liés à des situations et des défaillances complexes et nécessitent des solutions coordonnées qui traitent plusieurs paramètres. A travers ce chapitre nous avons proposé un logiciel qui à la fois régule le trafic aérien et automatise la tâche de coordination entre les aéroports.

Dans ce domaine où la sécurité est essentielle avant d'envisager l'intégration de nouveaux dispositifs en opérationnel, une phase d'évaluation prenant forme d'expérimentations est requise d'où ce logiciel est une solution à long terme. Comme solution à court terme nous avons rédigé une procédure qui définit le processus de gestion de la saturation des aires de stationnement.

Conclusion et recommandations

L'objet de ce travail consistait à étudier la problématique avancée par l'entreprise et bien comprendre ses enjeux. C'est la gestion de la saturation des aires de stationnement qui se manifeste, fréquemment, sur les aérodromes algériens, Elle constitue une tâche supplémentaire qui représente un vrai obstacle qui minimise considérablement la concentration et la performance des contrôleurs aériens. Notre stage s'est effectué au niveau du Centre de Contrôle Régional (CCR). Cependant, il faut souligner que les répercussions et les effets de cette problématique se manifestent chez les trois types de contrôle aérien.

Des études ont clairement mis en évidence la charge mentale dont souffre le contrôleur aérien. Ceci est accentué en Algérie, où le contrôleur aérien a d'autres tâches supplémentaires. En effet, ces distractions pour les contrôleurs aériens se sont avérées très dangereuses pour la santé du contrôleur aérien ainsi que pour la sécurité des vols en phase de croisière, là où intervient le contrôleur En Route. En vue de déterminer notre domaine d'intervention, nous avons identifié les scénarii primaires susceptibles de donner lieu à des conséquences graves. L'évènement le plus critique étant un AIRProx, nous l'avons pris comme évènement central d'une analyse plus approfondie dans laquelle nous avons exposé les phénomènes dangereux pouvant en découler.

Cette analyse nous a conduits à une simulation à l'aide du logiciel PHAST du phénomène le plus catastrophique : crash de l'aéronef. Les résultats et les contours des niveaux de radiations ainsi que ceux de la surpression ont révélé les effets désastreux que peut causer ce crash que ce soit pour l'environnement, dans le cas d'une dispersion, ou bien pour les personnes et les constructions, en cas d'un feu de nappe/une explosion tardive.

La simulation nous a rendu les contours de seuil pour chaque cas, notamment le feu de nappe tardif, à savoir :

- Le seuil de 8 kW/m² correspond au seuil de dégâts graves sur les structures, au seuil d'effets létaux significatifs délimitant la zone de dangers très graves pour la vie humaine.
- Le seuil de 5 kW/m² correspondant à la destruction des vitres des bâtiments. Il engendre rapidement une douleur chez l'homme (en quelques secondes).
- Le seuil de 3 kW/m² correspondant aux flux thermiques pouvant encore générer des effets graves sur l'homme : Brûlures au premier degré au bout d'environ une minute, douleurs en une vingtaine de secondes.

Pour illustrer cas, nous avons choisis comme exemple le stade de Baraki (40000 places) situé près de l'aéroport d'Alger comme terrain de simulation. Cependant, une étude des effets dominos pour le cas de la raffinerie de Sidi Rezine sera souhaitable dans le but de cerner l'influence et les risques que présentent les lignes de vol sur la raffinerie.

Finalement, et afin de remédier à cette problématique, nous avons choisi d'agir sur deux axes principaux : organisationnel et informatique.

En ce qui concerne le coté informatique, nous avons programmé, à la demande de l'entreprise, le Tactic Slot Allocation, un logiciel conforme au système d'exploitation Windows, qui régule le trafic aérien à travers tout le réseau aéroportuaire algérien, non seulement en allouant dynamiquement et en temps réel des créneaux de décollage (EOBT), mais aussi, en améliorant la coordination entre les aérodromes au niveau national. Le TSA, étant le premier de son genre en Algérie, a été élaboré de manière à réduire la charge mentale de travail en vue d'augmenter la capacité de gestion du trafic aérien. Il constitue un outil d'aide à la décision dont les bénéfices ont dépassé nos prévisions, étant donné qu'il permet de générer des profits financiers pour l'ENNA et favorise la préservation de l'environnement.

Quant à l'axe organisationnel, nous avons élaboré également une procédure de régulation de flux dans le cas d'une saturation d'une aire de stationnement dans un aérodrome algérien. Cette procédure interne, rédigée selon les documents de l'OACI et la norme ISO 10005, servira comme solution à court terme et comme référence lors d'une régulation de l'espace aérien. De plus, elle promouvra une culture de qualité de service délivré aux clients et compagnies aériennes.

Durant notre travail, nous avons détecté quelques lacunes relatives à la saturation des aires de stationnement où nous notons le recours aux voies de circulation. Après une brève comparaison entre les deux, nous avons pu constater l'inadéquation de cet acte. En guise de perspectives, nous suggérons une étude de risque qui portera sur la conformité d'utiliser les taxiways comme aires de stationnement provisoires. En outre, il serait intéressant de renforcer le TSA par un projet d'installation de capteurs de présences dans le but de fournir une disponibilité précise des postes de stationnement dans chaque aérodrome. Il est également préférable d'effectuer une deuxième étude de risques portant sur les effets d'intégration de nouveaux outils de travail, notamment le TSA, dans le domaine de contrôle aérien en Algérie et ceci en prenant en compte l'expérience d'Eurocontrol avec son propre logiciel de régulation de flux.

Références bibliographiques

ACHACHI Abdelali, 2015, Modélisation d'un système de contrôle aérien par satellites, thèse de doctorat, Micro-ondes pour Télécommunications, Université Hadj Lakhdar Batna.

Alexandre Sviatoslave Kostenko, 2017, Évaluation multidimensionnelle et dynamique de la maîtrise de la situation par l'opérateur : création d'un indicateur temps réel de charge mentale pour l'activité de supervision de drones. Interface homme-machine. Université de Bretagne Sud.

Bunecke, J. L., 1987, Quantifying some information processing requirements of the pilot's instrument cross check, Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting

Caroline Martin, 2013, La gestion de la charge mentale des contrôleurs aériens en-route : apports de l'eye-tracking dans le cadre du projet européen SESAR, Psychologie. Université Toulouse le Mirail -Toulouse II.

Caroline Martin, Sylvain Hourlier et Julien Cegarra, 2013, La charge mentale de travail : un concept qui reste indispensable, l'exemple de l'aéronautique, Le travail humain (Vol. 76),

Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J., 2007, La charge cognitive. Paris, Armand Colin.

D. Gianazza ,2004, "Optimisation des Flux de Trafic Aérien", Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse.

Endsley, M. R., & Kaber, D. B., 1999, Level of Automation Effects on Performance Situation Awareness and Workload in a Dynamic Environment. Ergonomics.

FAA, 2004, ICAO Standards Airfield Information Signs, p.103.

Gilles Turreau, 2010, C# l'essentiel du code et des classes le guide de survie, PEARSON Education France

Hilburn. B et Jorna, 2001, Workload and air traffic control, Stress, workload, and fatigue: Human factors in transportation.

INERIS – DRA, 2006, Méthodes d'analyses des risques générés par une installation industrielle.

Intergovernmental Panel on Climate Change, 1999, Aviation and the Global Atmosphere.

ISO, 2018, Systèmes de management de la qualité — Lignes directrices pour le management de la qualité dans les projets, p.34.

Jourdan, M. & Theureau, J, 2002, Charge mentale : notion loue et vrai problème. Toulouse, Octarès éditions.

Klinger. J, Kumar. R et Hanrahan. P, 2008, Measuring the Task-Evoked pupillary response with a remote Eye Traker, Eye traking research and application.

ITAC, Instruction Technique sur les Aérodrômes Civils, 2003, Constitution d'un Aérodrôme, SBA (Service des Bases Aériennes), p2.

Leplat. J, 1977, Les facteurs déterminant la charge de travail. Le Travail Humain.

Mazouni. M, 2008, Pour une Meilleure Approche du Management des Risques : De la Modélisation Ontologique du Processus Accidentel au Système Interactif d'Aide à la Décision, l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Thèse de doctorat, p.239.

Mercuria, 2015, Fiche de données de sécurité – Kérosène, p.13.

Meshkati. N, 1988, Human Mental Workload, Elsevier Science Publishers, North-Holland.

Millot. P, 1999, Systèmes homme-machine et automatique, Journées Doctorales d'Automatique.

MAZOUNI Mohamed-Habib, 2003, Pour une Meilleure Approche du Management des Risques : De la Modélisation Ontologique du Processus Accidentel au Système Interactif d'Aide à la Décision, Thèse de doctorat.

Morineau.T, Hoc. J-M & Denecker. P, 2003, Cognitive levels of control in air-traffic radar controller activity, International journal of aviation psychology, 13(2):107-130.

N. Barnier (LIMA – ENAC / POM – DTI), 2010, Automatisation de la gestion du trafic aérien en Europe.

National Transportation Safety Board, 1987, Accident Report.

Nicolas Barnier, 2002, Application de la programmation par contraintes à des problèmes de gestion du trafic aérien, Intelligence artificielle [cs.AI], thèse de doctorat, informatique et télécommunications, Institut National Polytechnique De Toulouse.

OACI, 2004, Annexe 14 : Convention relative à l'aviation civile internationale, Aérodrômes, Volume 1 Conception et exploitation technique des aérodrômes, p.237.

OACI, 2007, Gestion du trafic aérien 15ème édition, p.486.

Pierre-Vincent Paubel, 2011, Évaluation d'un système de résolution de conflits, ERASMUS : apport de l'oculométrie comme mesure de la charge mentale chez les contrôleurs aériens en-route. Psychologie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II.

Porter. G, Troscianko. T, & Gilchrist. I, 2007, Effort during visual search and counting: Insights from pupillometry, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*.

Royer. V, 1994, Partage de croyances : condition nécessaire pour un système coopératif. *Systèmes Coopératifs de la Modélisation à la Conception*, 253-270.

Sperandio. J. C, 1988. *L'ergonomie du travail mental*. Paris : Masson.

Stein E.S, 1992, *Air Traffic Control Visuel Scanning*, Atlantic City, Departement Of Transportation, Federal Aviation Administration Technical Center.

Tricot & Chanquoy. L, 1996, *La charge mentale*. Psychologie Française,

Van Orden. G, C. Pennington. B, F. & Stone. O. G, 2001, What do double dissociations Cognitive Science.

VERITAS, 2018, *Installation classées pour la protection de l'environnement*, Bureau d'exploitation.

Wickens. C. D, 2000, *Engineering psychology and human performance* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall.

1001crash, Recueil des crashes, Retour d'expérience et sécurité aérienne, Disponible sur https://www.1001crash.com/index-page-description-accident-BA_TU154-lg-1-crash-109.html consulté le 18/05/2019 à 20 :00

Accidents Investigation Branch, Department of Trade, Report on the collision of Zagred area, Yugoslavia on 10 September 1976, Disponible sur https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5422ffeed915d1374000a11/9-1982_G-AWZT_and_YU-AJR.pdf consulté le 18/05/2019 à 03 :27

Aviation Safety Academy, 2019, Database, Disponible sur <https://aviation-safety.net/database/> consulté le 17/05/2019 à 20 :17

DNV, 2018, Who we are. Disponible sur <https://www.dnv.com/about/index.html> consulté le 19/05/2019 à 11 :53

DNV Software, 2016, PHAST Tutorial Manual, p.39. Disponible sur <https://www.dnv.com/services/software> consulté le 19/05/2019 à 14 :17

ENNA, 2012, Historique de l'ENNA. Disponible sur <https://www.enna.dz/historique.htm> Consulté le 20/02/2019 à 00 :31

Eurocontrol, 2014, ATFCM Operating Procedures For Flow Management Position, Edition 18.1.1. Disponible sur <https://www.eurocontrol.int/> consulté le 09/03/2019 à 20 :40

Eurocontrol, 2019. Disponible sur <https://www.eurocontrol.int/articles/who-we-are> Consulté le 20/02/2019 à 01 :32.

GBM et Qualité. https://www.utc.fr/~farges/gbm_et_qualite/outils/analyse_risques.htm

Joint report KLM PANAM, 1978, Rapport de l'accident. Disponible sur <https://skybrary.aero/bookshelf/books/313.pdf> consulté le 17/05/2019 à 18 :15

Documentation de l'entreprise

ENNA, 2016, Plan d'Action Annuel.

ENNA, 2017, Plan d'Action Annuel.

ENNA, 2018, Plan d'Action Annuel.

ENNA, 2019, Plan d'Action Annuel.

Annexes

Annexe 1 : Retour d'expérience

Accident aérien d'Überlingen 2002

Le 1er juillet 2002, l'aéronef Tu-154 de Bashkirian Airlines reliant Moscou à Barcelone est entré en collision avec l'aéronef-cargo Boeing-757 de DHL (Bergame-Bruxelles) près d'Überlingen et du lac de Constance, en Allemagne. Au total, la catastrophe a fait 71 morts, dont 52 enfants (1001crash, 2010).

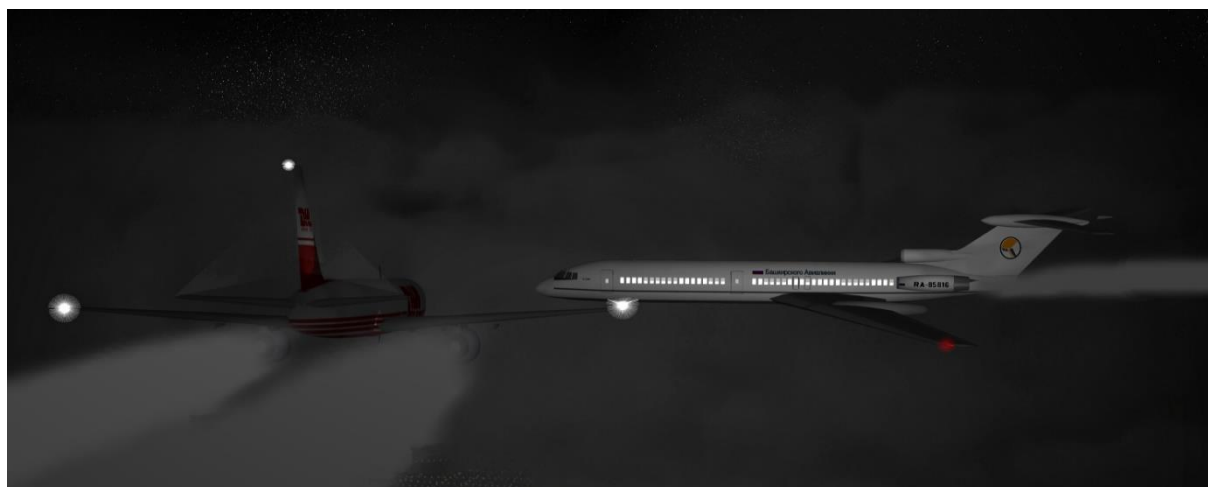


Figure 0-1: Reconstruction de l'accident aérien d'Überlingen (source : 1001 crash)

L'enquête a établi qu'une erreur commise par le contrôleur aérien. Au moment de l'accident, l'aiguilleur du ciel était seul à surveiller, depuis l'aéroport de Zürich, l'espace aérien qui couvre une zone limitrophe au-dessus de la Suisse et du sud de l'Allemagne. L'autre contrôleur était parti faire une pause autorisée par le service. Le contrôleur n'a pris que tardivement conscience du danger qui menaçait les deux appareils et a en plus déclaré au pilote russe que le Boeing se trouvait à droite de son appareil, alors que le cargo se trouvait en fait à gauche.

Garuda Indonesia Flight 152 en 1997

26 Septembre 26 1997, vol 152 de Garuda Indonesia Airlines, de Jakarta à Medan. Durant l'approche, le Pilote de bord a demandé l'aide face à une mauvaise visibilité causée par un incendie de forêt.

Trois autres avions étaient en attente pour atterrissage à Medan. Deux avions avaient le même numéro de vol ce qui a porté confusion au contrôleur aérien et il a donc dérouté le vol de son itinéraire d'origine.

Par contre, l'élément crucial de ce désastre était un grand échec de communication entre l'aéroport et le pilote. Juste avant l'atterrissage de l'Airbus A300, le contrôleur aérien a donné une instruction de tourner à droite au lieu de tourner à gauche (ASN, 2019). Une confusion à mener au crash de l'avion tuant ainsi les 234 personnes qui étaient à bord.

Avianca Flight 52 Crash 1990

Le jeudi 25 janvier 1990, le Boeing 707-321B, numéro HK-2016 de la compagnie colombienne Avianca, s'écrasa sur la ville de Cove Neck sur Long Island à New York après s'être trouvé à court de carburant. 73 des 158 passagers et membres d'équipage furent tués.

Le vol Avianca 52 tournait dans une zone aérienne d'attente au-dessus de la région de New York depuis une heure, cela à cause du brouillard et des mauvaises conditions météo sur la région. Durant cette attente, l'appareil épuisa ses réserves de kérosène qui lui auraient permis de se détourner vers l'aéroport de Boston moins encombré. Environ 77 minutes après le début de cette attente, le contrôleur indiqua à l'avion qu'il lui dégagait l'accès à la piste 22L.

Alors que le vol 52 faisait son approche pour atterrir, il rencontra des cisaillements de vents à moins de 150 mètres du sol, ce qui a fait perdre très rapidement de l'altitude à l'avion, bien en dessous de l'altitude minimum pour atteindre la piste en sécurité. Alors qu'ils étaient encore à 3 ou 4 km, et qu'ils ne voyaient pas la piste (très peu de visibilité). Cela a failli provoquer un crash avant la piste. Les contrôleurs aériens avaient seulement averti l'équipage de cisaillements à 450 mètres d'altitude et pas plus bas. L'équipage annonça une approche manquée et remis les gaz pour la recommencer mais à ce moment précis l'appareil n'avait pas assez de carburant pour refaire une approche complète et le moteur n° 4 s'éteignit, rapidement suivi par les 3 autres. Quelques secondes plus tard, l'avion s'écrasa dans le petit village de Cove Neck, à 24 kilomètres de l'aéroport (ASN, 2019).

Le rapport du NTSB, le bureau d'enquête américain, indiqua que l'accident était dû à : une erreur de pilotage, l'équipage n'ayant pas déclaré explicitement une urgence carburant au contrôle aérien comme cela est préconisé dans les procédures IATA. Une erreur de contrôle aérien qui avait été négligent en ne fournissant pas aux avions arrivant les informations sur les vents cisailants qui auraient alerté l'équipage sur de possibles difficultés à l'atterrissage.

Catastrophe de DC-9 d'Aeromexico à Cerritos 1986

Le 31 août 1986, un McDonnell Douglas DC-9 d'Aeromexico reliant Mexico à Los Angeles a percuté un avion privé Piper Cherokee Archer II à 2.000 m d'altitude. Les deux appareils sont tombés à Cerritos, une ville située non loin de Los Angeles. Les 67 personnes se trouvant à bord des deux appareils, ainsi que 15 personnes au sol ont été tuées.



Figure 0-2: McDonnell Douglas DC-9 (source : NTSB)

Plusieurs causes étaient à l'origine de ce double crash : le système des radars de l'aéroport de Los Angeles n'était pas assez puissant pour détecter le petit Piper Cherokee qui avait pénétré par inadvertance dans son espace aérien. En plus, le contrôleur aérien Walter White a été distrait par l'entrée non autorisée d'un autre jet privé dans sa zone de surveillance (NTSB, 1987).

Crash à Omsk 1984

Le 11 octobre 1984, un Tu-154 d'Aeroflot reliant Krasnodar, dans le sud de l'URSS, à Omsk, en Sibérie occidentale, a percuté trois engins de déneigement sur la piste d'Omsk lors de son atterrissage. L'appareil a pris feu, tuant 174 des 179 personnes à bord, dont 8 adolescents et 16 enfants, ainsi que 4 personnes se trouvant au sol.

D'après l'enquête, le crash s'est produit du fait d'un enchaînement d'erreurs des contrôleurs aériens. Un jeune aiguilleur du ciel, qui aurait été en manque de sommeil, s'est endormi sur son lieu de travail et n'a pas allumé le tableau « Piste d'atterrissage occupée ». Il a également permis aux camions de service de se déplacer librement sur la piste. Deux autres contrôleurs ont aussi été condamnés à des peines de prison (ASN, 2019).

Crash de Tenerife 1977

La collision au décollage entre deux Boeing 747 des compagnies KLM et Pan American, sur l'aéroport de Tenerife (îles Canaries) en Los Rodeos, provoque la mort de 583 personnes le 27 Mars 1977. C'est la plus grave catastrophe aérienne à ce jour (non compris les victimes des attentats du 11 septembre 2001). Les causes sont à la fois météorologiques et humaines. La faute en incombe au pilote de l'appareil néerlandais décollant sans autorisation et au contrôleur de l'aérodrome qui n'était pas habitué au nombre de trafic aérien arrivé ce jour-là et a donc mal coordonné entre les deux aéronefs (Joint report KLM PANAM, 1978). Il y eut quand même 61 survivants, tous dans l'appareil de la Pan Am.

Collision de Zagreb 1976

Le 10 septembre 1976, un Trident HS 121 de British Airways reliant Londres à Istanbul est entré en collision avec un Douglas DC-9 d'Inex-Adria effectuant un vol Split-Cologne au-dessus de la ville yougoslave de Zagreb.

L'aile gauche du DC-9 a accroché le nez du Trident HS 121, tuant sur le coup les pilotes britanniques et dépressurant la cabine. L'aile s'est arrachée, et le DC-9 s'est écrasé à proximité du village de Vrolec. À bord du Trident, les passagers sont morts asphyxiés en quelques minutes. L'aéronef a fini par s'écraser au sol cinq minutes après le choc. Cet accident, le plus grave de l'histoire de British Airways, a fait 177 morts.

D'après l'enquête, le crash s'est produit en raison d'une défaillance du système des radars et de la négligence d'un contrôleur aérien, Gradimir Tasic, qui était surchargé ce jour-là, travaillant seul alors qu'il devait y avoir deux contrôleurs à Zagreb (AIB, 1982).

Annexe 2 : Liste des aérodrômes algériens et leurs nombres de postes de stationnement

Tableau 0-1: Liste des aérodrômes algériens et leurs nombres de postes de stationnement

N°	Code	Région	Nom	Total	Heavy	Medium	Light
1	DAUA	ADRAR	Touat-Cheikh Sidi Mohamed Belkebir	7	0	7	0
2	DAAG	ALEGR	Houari Boumediene	60	/	/	/
3	DABB	ANNABA	Rabah Bitat	10	2	8	0
4	DABT	BATNA	Most a Ben Boulaid	4	0	0	0
5	DAAE	BEJAIA	Soummam-Abane Ramdane	4	0	4	0
6	DAOR	BECHAR	Boudghene Ben Ali Lotfi	4	2	2	0
7	DATM	BORDJ BADJI MOKHTAR	/	/	/	/	/
8	DAAD	BOU SAADA	/	/	/	/	/
9	DAUB	BISKRA	Mohamed Khider	3	0	3	0
10	DAOY	EL BAYADH	/	3	0	3	0
11	DAOI	CHLEF	/	6	4	2	0
12	DABC	CONSTANTINE	Mohamed Boudiaf	9	3	6	0
13	DAAJ	DJANET	/	3	2	1	0
14	DAUE	EL GOLEA	/	5	0	5	0
15	DAUO	EL OUED	/	5	0	5	0
16	DAUG	GHARDAIA	/	7	1	5	1
17	DAOV	GHRISS	/	/	/	/	/
18	DAUH	H. MESSAOUD	Oued Irara-Krim Belkacem	6	0	6	0
19	DAAP	ILLIZI	Takhamalt	2	2	0	0
20	DATG	IN GUEZZAM	/	/	/	/	/
21	DAUI	IN SALAH	/	3	3	0	0
22	DAAV	IJEL	Ferhat ABBAS	4	0	4	0
23	DAOO	ORAN	Ahmed Ben Bella	10	3	7	0
24	DAUU	OUARGLA	Ain Beida	/	/	/	/
25	DAAS	SETIF	08-mai-45	8	0	8	0
26	DAAT	TAMENGHASSET	Aguenar - Hadj bey Akhamok	7	2	5	0
27	DABS	TEBESSA	Cheikh Larbi Tébessi	5	2	3	0
28	DAOB	TIARET	Abdelhafid Boussouf Bou Chekif	5	0	3	2
29	DAUT	TIMIMOUN	/	4	0	4	0
30	DAOF	TINDOUF	/	4	4	0	0
31	DAON	TLEMCEN	Zenata-Messali El Hadj	13	6	12	0
32	DAUK	TOUGGOURT	Sidi Mahdi	5	0	5	0
33	DAUZ	IN- AMENAS	Zarzaitine	2	0	2	0

Annexe 3 : Plan de vol

Le plan de vol constitue un ensemble de renseignements fournis aux services de la circulation aérienne pour le vol. Ces informations leurs permettent de fournir au Pilote de bord les services nécessaires pendant son vol (information de vol, contrôle, service d'alerte).

Les cases contiennent les informations suivantes :

- Case 7 : identification de l'aéronef
- Case 8 : règles de vol et type de vol
- Case 9 : nombre d'aéronefs, type d'aéronef et catégorie de turbulence de sillage
- Case 10 : équipement
- Case 13 : aéroport de départ, date et heure
- Case 15 : route
- Case 16 : aéroport de destination et durée totale estimée, aéroports de dégagement
- Case 18 : renseignements divers
- Case 19 : renseignements complémentaires

PRIORITÉ / Priority << = FF →		DESTINATAIRES / Addressees _____ _____ _____ << =	
HEURE DE DÉPÔT / Filing time _____ →		EXPÉDITEUR / Originator _____ << =	
IDENTIFICATION PRÉCISE DES DESTINATAIRES ET/OU DE L'EXPÉDITEUR / Specific identification of addressees and/or originator _____			
3 TYPE DE MESSAGE / Message type << = (FPL		7 IDENTIFICATION DE L'AÉRONEF / Aircraft identification _____	
8 RÈGLES DE VOL / Flight rules _____		TYPE DE VOL / Type of flight _____ << =	
9 NOMBRE / Number _____		TYPE D' AÉRONEF / Type of aircraft _____	
CATÉGORIE DE TURBULENCE DE SILLAGE / Wake turbulence category _____ / _____		10 ÉQUIPEMENT & POSSIBILITÉS / Equipment & capabilities 10-a _____ 10-b _____ << =	
13 EMPLACEMENT DE DÉPART / Departure location _____		HEURE / Time _____ << =	
15 VITESSE CROISIÈRE / Cruising speed _____		NIVEAU / Level _____ →	
ROUTE / Route _____ _____ << =			
16 AÉRODROME DE DESTINATION / Destination aerodrome _____		DURÉE TOTALE ESTIMÉE / Total EET HR _____ MIN _____	
AÉRODROME DE DÉGAGEMENT À DESTINATION / Destination alternate aerodromes 1 ^{er} / 1 st _____		2 ^{ème} / 2 nd _____ << =	
18 RENSEIGNEMENTS DIVERS / Other information _____ _____ _____) << =			
19 RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES (À NE PAS TRANSMETTRE DANS LES MESSAGES DE PLAN DE VOL DÉPOSÉ) / Supplementary information (NOT TO BE TRANSMITTED IN FPL MESSAGES)			
AUTONOMIE / Endurance HR _____ MIN _____ → E / _____		PERSONNES À BORD / Persons on board → P / _____	
RADIO ET BALISE D'URGENCE / Emergency radio UHF _____ VHF _____ RBDA / ctba _____ → R / U _____ V _____ E		ÉQUIPEMENT DE SURVIE / Survival equipment POLAIRE / Polar _____ DÉSERT / Desert _____ MARITIME / Maritime _____ JUNGLLE / Jungle _____ → S / P _____ D _____ M _____ J	
GILETS DE SAUVETAGE / Jackets LAMPES / Light _____ FLUORES / Fluores _____ UHF _____ VHF _____ → J / L _____ F _____ U _____ V		CANOTS / Dinghies NOMBRE / Number _____ CAPACITÉ / Capacity _____ COUVERTURE / Cover _____ COULEUR / Colour _____ → D / _____ → _____ → C → _____ << =	
COULEUR ET MARQUES DE L'AÉRONEF / Aircraft colour and markings A / _____			
REMARQUES / Remarks → N _____ << =			
PILOTE COMMANDANT DE BORD / Pilot-in-command C / _____) << =			
DÉPOSÉ PAR / Filed by _____		ESPACE RÉSERVÉ À DES FINS SUPPLÉMENTAIRES / Space reserved for additional requirements _____	

Figure 0-3: Plan de vol

Annexe 4 : Calcul des niveaux de risque

Tableau 0-2 : Calcul des niveaux de risque

Cotation de la cinétique Cn	
A	1
B	2
Cotation de la fréquence F	
A	1
B	2
C	3
D	4
E	5
Cotation de la gravité G	
HN	1
HN 70	2
HN 50	3
La criticité C = Cn*F*G	
Les niveaux de risque	
$1 < C < 7$	Acceptable
$8 < C < 20$	Tolérable
$21 < C < 30$	Inacceptable