

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 1

INSTITUT D'AERONAUTIQUE ET DES ETUDES SPACIALES

EXPLOITATION AERONAUTIQUE

OPERATIONS AERIENNES

Projet de Fin d'Etudes en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Aéronautique

**EXPLOITATION DES DONNEES DE LA STATION
D'ANALYSE FDM POUR LE SUIVI DES
PERFORMANCES DES B737-800 ET Q400**

Encadré par :

M. DRIOUECHE Mouloud

Rédigé par :

SI-SALAH Thinhinane

DRIDAH Soumiya

Promotion 2015

Résumé

Les performances avion se dégradent avec le temps notamment lors de l'exploitation des avions dans des conditions météorologiques difficiles, par conséquent les constructeurs mettent à la disposition des compagnies aériennes des logiciels de suivi des performances afin de connaître les performances réelles de leurs avions, cela se fait en calculant les coefficients de dégradation des performances en utilisant le BPS pour le constructeur Boeing, et en exploitant les données de la station d'analyse au sol AGS pour les constructeurs qui n'ont pas conçu ce genre de logiciel.

Mots clés : Le coefficient de dégradation des performances, BPS, AGS.

Abstract

The aircraft performances degrade in time in particular during the exploitation of aircrafts in difficult weather conditions, consequently the manufacturers put at the disposal of the airline companies the software of follow-up of the performances to know the real performances of their aircrafts, it is made by calculating coefficient of degradation of the performances by using the BPS for the manufacturer Boeing, and by exploiting the data of the analysis ground AGS for manufacturer who did not design this kind of software.

Keywords : Coefficient of degradation of the performances, BPS, AGS.

ملخص

أداء الطائرة يتدهور بمرور الوقت وخاصة أثناء تشغيل الطائرات في الظروف الجوية الصعبة، لذلك الشركات المصنعة تضع في يد شركات الطيران برامج تتابع أداء من أجل معرفة الأداء الفعلي للطائرات وهذا يتم عن طريق حساب معامل تدهور الأداء باستخدام (BPS) للمصنع BOEING و باستغلال معطيات محطة التحليل الارضية AGS بالنسبة للمصنعين الذين لم يصمموا هذا النوع من البرامج.

الكلمات المفتاحية: معامل تدهور الأداء، BPS، AGS.

Remerciement

On remercie en premier lieu notre promoteur M. DRIOUECHE Mouloud de nous avoir encadrés et dirigés vers les bons choix.

On tient ensuite à remercier M.BOUAMRANI Farid qui nous a encadrés durant le stage pratique, il nous a orienté, conseillé et aidé par la documentation qu'il nous a fourni comme par ses explications qui ont guidé ce travail vers la réussite.

On remercie M.ABDELOUAHAB Farouk pour sa disponibilité, ses conseils et son aide continue.

On remercie également M.ALILI Hichem pour tout ce qu'il a fait pour nous, et qui nous a beaucoup facilité la tâche.

On remercie toute l'équipe de la direction de l'exploitation de Tassili Airlines qui ont accepté de nous accueillir et répondre à nos questions durant notre stage.

Enfin, on adresse nos remerciements à toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes parents qui m'ont apporté un soutien inconditionnel. Merci pour le soutien financier et moral, si je suis ici aujourd'hui c'est grâce à vous.

À mes frères, mes sœurs et toute ma famille surtout ma tante Khalissa qui a été toujours là pour moi.

À mes amies Amel, Ferroudja, Farah, Safia, Zoulikha, Amel et Houaria qui m'ont toujours soutenu et encouragé.

À mes camarades de promotion, je les remercie pour les années passées ensemble, dans les meilleurs moments comme dans les pires.

À mon binôme Thininane et à toute sa famille.

Soumia

Dédicaces

Je dédis ce modeste travail en premier lieu à mes chers parents, sans eux je serais jamais arrivée là, je les remercierai jamais assez pour leurs sacrifices, leurs soutiens moral soit il ou financier.

Comme je le dédis à mes deux frères Akli et Menad,

A ma belle sœur Chafiaa,

A mes deux tantes Fahima et Malika, et toute ma famille,

A mon binôme Soumia et sa famille

A tous mes amis ainsi qu'à toute personne qui m'a aidé à réaliser ce travail.

Thiniane

Table des matières

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Abréviation

Introduction générale.....1

Chapitre I : Présentation de la compagnie et de sa flotte3

I.1. Présentation de la compagnie.....3

I.1.1. Définition.....3

I.1.2. Historique.....3

I.1.3. Destinations.....4

I.1.4. La flotte de Tassili Airlines.....5

I.1.5. Les activités de Tassili Airlines.....5

I.2. Structure de l'organisation de la compagnie7

I.2.1. Organigramme d'ensemble de la compagnie aérienne Tassili Airlines.....7

I.2.2. Organigramme général de la direction Exploitation.....9

I.3. Les missions de la Direction Exploitation.....10

I.4. Etude des performances de l'appareil B737-800.....10

I.4.1. Description de l'appareil.....10

I.4.2. La fiche technique de l'appareil B737-800.....12

I.5. Etude des performances de l'appareil Q400.....13

I.5.1. Description de l'appareil.....	13
I.5.2. La fiche technique de l'appareil Q400.....	14
Chapitre II : Notions et définitions sur la dégradation des performances	16
Introduction	16
II.1. Définition du suivi des performances	16
II.2. Les enjeux de suivi des performances	16
II.3. Détermination de déviation de performances.....	17
II.4. Les paramètres affectant la dégradation	18
II.4.1. Dégradation des moteurs	18
II.4.2. Dégradation des performances aérodynamiques de la cellule	18
II.5. Les données nécessaires pour le suivi des performances	19
II.6. L'utilisation des résultats de suivi des performances	20
II.7. Processus de suivi de performances	21
II.7.1. Description du système de gestion de vol FMS	21
II.7.1.1. Définition du système de gestion de vol FMS	21
II.7.1.3. Les composantes du système	23
II.7.1.4. Les informations exploitées par le FMS.....	25
II.7.1.5. Les informations fournies par le (FMS)	26
II.7.2. Enregistrement des données	27
II.7.2.1. Enregistrement manuel	28
II.7.2.2. Enregistrement automatique	28
II.7.3. Méthodes d'analyses	30

II.7.3.1. Méthode du carburant utilisé.....	30
II.7.3.2. Méthode du carburant embarqué.....	30
II.7.3.3. Méthode de rayon spécifique	30
II.7. 4. Comparaison entre les méthodes	33
Chapitre III : Présentation de la station d'analyse FDM	34
Introduction.....	34
III.1. Programme d'analyse des données de vol.....	34
III.2. Objectifs d'un programme d'analyse des données de vol.....	35
III.3. Équipement FDA.....	36
III.4. Les outils de l'AGS.....	38
III.5. Le contrôle des données de vol (FOQA et MOQA)	38
III.5.1.FOQA.....	39
III.5.2.MOQA.....	40
III.6. Données d'entrée.....	40
III.7. Processus analytique	41
III.7.1. Mots clés et codage	42
III.7.1.1.Informations des médias.....	42
III.7.1.2.Information De Vol.....	42
III.7.1.3.Renseignements sur l'événement.....	42
III.4.1.4.Paramètres instantanés.....	42
III.7.2.Quelle est la procédure générique pour le programme?.....	43
III.7.3.Définition de l'événement - les niveaux de déclenchement.....	44
III.7.4.Définition de paramètres supplémentaires.....	45

III.8.Outils de sortie.....	45
III.8.1.Rapports statistiques.....	45
III.8.1.1. Rapports d'événement statistique / Rapports de Dépassement.....	45
III.8.1.2. Rapports instantanés - Les rapports de mesures opérationnelles courantes.....	47
III.8.2.Analyse des événements Individuels.....	48
III.9.Application des résultats de l'analyse.....	50
Chapitre IV : Etude de cas (analyse de la dégradation des performances des B737-800 et Q400)	51
Introduction.....	51
IV.1. Calcul du FF théorique (à partir du Jetplan)	51
IV.1.1. Exemple de calcul	51
IV.2. Calcul du FF réel (Exploitation des données de l'AGS)	52
IV.2.1. Exemple de calcul.....	53
IV.3. Calcul du coefficient de dégradation des performances.....	55
IV.4. L'interprétation des résultats.....	56
IV.5. Le suivi des performances du B737-800 en utilisant l'APM	57
IV.5.1. Description de l'APM.....	57
IV.5.2. Les données d'entrée.....	58
IV.5.3. Processus de calcul dans le programme APM.....	60
IV.5.4. L'archivage de l'APM.....	63
IV.5.5. Les résultats obtenus par le BPS.....	63
Conclusion générale	66

Bibliographie

Annexes

Liste des figures

Figure(I.1) : Organigramme d'ensemble de la compagnie aérienne Tassili Airlines.....	8
Figure(I.2) : Organigramme général de la direction Exploitation.....	9
Figure (I.3) : Dimensions d'un B737-800.....	11
Figure (I.4) : Dimensions d'un Q400.....	14
Figure (II.1) : L'interface MCDU.....	24
Figure (II.2) : L'interface FMC.....	24
Figure (III.1) : Fenêtre de saisie de données montrant la queue de l'échantillon et les médias	41
Figure (III.2) : Le processus de surveillance de données de vol.....	44
Figure (III.3) : Exemple des résultats donnés sous forme de rapports statistique.....	46
Figure (III.4) : Exemple déviation de la pente de descente (Localizer) et les points d'atterrissage sur une piste.....	48
Figure (III.5) : Visualisation de l'événement sous forme de graphe ou de tableau.....	49
Figure (IV.1) : Une partie d'un Jetplan.....	52
Figure (IV.2) : Processus de calcul dans le programme APM.....	60

Liste des tableaux

Tableau (I.1) : La fiche technique de l'appareil B737-800.....	13
Tableau (I.2) : La fiche technique de l'appareil Q400.....	15
Tableau (II.1) : Les données nécessaires pour le suivi des performances	20
Tableau (II.2) : Comparaison entre les méthodes d'analyse.....	33
Tableau (IV.1) : La consommation horaire pour chaque moteur par phase de vol.....	55
Tableau (IV.2) : Les coefficients de dégradation des performances des avions B737-800.....	56
Tableau (IV.3) : Les coefficients de dégradation des performances des avions Q400.....	56
Tableau (IV.4): Résultats de l'APM pour le 7 T-VCA.....	63
Tableau (IV.5): Résultats de l'APM pour le 7 T-VCB.....	64
Tableau (IV.6): Résultats de l'APM pour le 7 T-VCC.....	64
Tableau (IV.7): Résultats de l'APM pour le 7 T-VCD.....	64
Tableau (IV.8): Résultats de l'APM pour la flotte B737-800.....	65

Abréviations

Abréviation	Signification en anglais	Signification en français
A		
ACARS	Aircraft Communication Addressing and Reporting System	Système de communication, adressage et reportage de l'aéronef
ACAS	Airborne Collision Avoidance System	Système anticollision embarqué
ACMS	Aircraft Condition Monitoring System	Système de surveillance de l'état de l'aéronef
ADC	Air Data Computer	Centrale aérodynamique
ADRS	Aircraft Data Recording System	Système d'enregistrement de données d'aéronef
AGL	Above Ground Level	Au-dessus du niveau du sol
AGS	Analysis Ground Station	La station d'analyse au sol
APM	Aircraft Performance Monitoring	Surveillance des performances d'avion
ASR	Air Safety Reports	Rapports de la sécurité aérienne
ATC	Air Traffic Control	Contrôle de la circulation aérienne
B		
BPS	Boeing Performance Software	Logiciel de performance de Boeing
C		
CADV	Auto Flight Control System (AFCS)	Commande Automatique Du Vol
CDU	Control and Display Unit	Le contrôleur d'affichage
CG	Center of Gravity	Centre de gravité
D		
DAR	Direct Access Recorder	Enregistreur à accès direct
DB	Data Base	Base de données
DME	Distance Measuring Equipment	Dispositif de mesure de distance
DSIRF	Digital Standard Input Recording Format	Format de l'enregistrement d'entrée standard numérique
E		
EGT	Exhaust Gas Temperature	Température des gaz d'échappement

EPR	Engine Pressure Ratio	Taux de pression moteur
ETOPS	Extended-range Twin-engine Operation Performance Standards	Les opérations d'avions bimoteurs avec distance de vol prolongée
F		
FCOM	Flight Crew Operating Manual	Manuel de fonctionnement de l'équipage
FDA	Flight Data Analysis	Analyse des données de vol
FDAP	Flight Data Analysis Program	Programme d'analyse des données de vol
FDR	Flight Data Recorder	Enregistreur des données de vol
FF	Fuel Flow	Débit carburant
FLHV	Fuel Lower Heating Value	Température basse d'échauffement du carburant
FM	Fuel Mileage	Consommation de carburant
FMC	Flight Management Computer	Calculateur de gestion de vol
FMS	Flight Management System	Système de gestion de vol
FOQA	Flight Operations Quality Assurance	Assurance de la qualité des opérations aériennes
FQ	Fuel Quantity	La quantité de carburant
FSF	Flight Safety Foundation	Fondation de la sécurité des vols
G		
GPS	Global Positioning System	Système mondial de positionnement Global
GPWS	Ground Proximity Warning System	Dispositif avertisseur de proximité du sol
GS	Ground Speed	Vitesse au sol
H		
HF	High Frequency	Haute Fréquence
HT	High voltage	Haute tension
I		
IATA	International Air Transport Association	Association internationale du transport aérien
ILS	Instrument Landing System	Système d'atterrissage aux instruments

INS	Inertial Navigation System	Système de navigation inertielle
IOSA	IATA Operational Safety Audit	Audit de sécurité opérationnelle de l'IATA
IRS	Inertial Reference System	Système de référence inertiel
L		
LOSA	Line Operations Safety Audit	Audit de sécurité en service de ligne
M		
MCDU	Multipurpose Control and Display Unit	Contrôle Polyvalent et Écran de visualisation
MOQA	Maintenance Operations Quality Assurance	Assurance de la qualité des opérations de maintenance
MSIRF	Manuel Standard Input Recording Format	Format de l'enregistrement d'entrée standard manuel
N		
NASA	National Aeronautics and Space Administration	Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace
NDB	Navigation Data Base	Base de données de navigation
NG	New Generation	Nouvelle génération
NVS	Noise and Vibration Suppression	Suppression de bruit et de vibration
O		
OACI	International Civil Aviation Organization (ICAO)	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
P		
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association	L'association internationale des cartes à mémoires pour ordinateurs personnels
PH	Human Pilot (HP)	Pilote Humain
PMS	Performance Management System	Système de gestion de performances
PNT	Technical flight crew	Personnel Navigant Technique
Q		
QAR	Quick Access Recorder	Enregistreur à accès rapide
QDM	Magnetic heading (zero wind)	Cap magnétique (par vent nul) ou route magnétique
QFU	Magnetic orientation of runway	Direction magnétique de la piste

R		
RNAV	Area Navigation	Navigation de surface
RS	Specific Range (SR)	Rayon spécifique
S		
SDCPS	Safety Data Collection and Processing System	Système de collecte et de traitement de données sur la sécurité
SGS	Safety management system	Système de gestion de la sécurité
SID	Standard Instrument Departure	Départ normalisé aux instruments
SOP	Standard Operating Procedures	Procédure d'exploitation normalisée
STAR	Standard Arrival	Arrivée normalisée
T		
TAS	True Air Speed	Vitesse vraie
THT	Very high voltage	Très haute tension
V		
VHF	Very High Frequency	Très haute fréquence
VNAV	Vertical Navigation	Navigation verticale
VOR	VHF Omnidirectional Range	Radiophare omnidirectionnel VHF
X		
XTK	Cross Track Error	Ecart de route
Z		
ZFW	Zero Fuel Weight	Masse sans carburant

Introduction

Dans une compagnie aérienne, les opérations aériennes ont un rôle indispensable pour assurer la sécurité des vols tout en prenant compte de l'aspect économique, pour cela les opérations ont besoin des informations précises et diverses sur les conditions d'utilisation des avions et de leurs performances.

On sait que, malgré une certification conforme aux règlements, des aéronefs, notamment des avions de transport, peuvent rencontrer des situations qui dégradent de façon importante l'aérodynamique, sans que l'équipage en ait conscience. Une telle situation peut entraîner un effet de surprise qui peut être la cause d'une réaction non adaptée de l'équipage, et ceci d'autant plus que, lorsque la dégradation des performances aérodynamiques devient importante, les qualités de vol sont modifiées et le contrôle de l'aéronef devient beaucoup plus difficile.

Les causes de dégradation des performances, les plus connues, sont notamment les conditions météorologiques difficiles (hautes température, zones désertiques (érosion), givrage), la captation sur des bords d'attaque d'insectes, la perte d'une partie d'un bord d'attaque ou d'un panneau de la voilure.

Quand un aéronef est confronté à l'une des situations précitées engendrant une dégradation de ses performances, sa résistance à l'avancement dans l'air augmente et la traînée croît. Dans un tel cas, si la puissance n'est pas modifiée, l'aéronef perd de la vitesse lorsqu'il est en maintien d'altitude, ou le taux de montée baisse lorsqu'il est en maintien de vitesse, ce qui peut bien entendu devenir très dangereux et n'est pas acceptable.

Les compagnies aériennes sont obligées de mettre en place un programme de suivi des performances de leurs avions afin de mettre à jour leurs bases de données (plans de vol technique, et FMS) avec le coefficient de dégradation.

Les constructeurs aéronautiques mettent souvent à la disposition des exploitants des logiciels de suivi de dégradation des performances, néanmoins certains constructeurs n'ont pas des logiciels de ce genre.

Le but de notre étude est d'exploiter les données de la station d'analyse FDM de Tassili Airlines afin d'élaborer un programme de suivi des performances avions pour le B737-800 et le Q400.

Introduction générale

Ce travail est organisé comme suit :

On commence par une introduction générale.

Le premier chapitre « Présentation de la compagnie et de sa flotte ».

Le deuxième chapitre « Notions et définitions sur la dégradation des performances ».

Le troisième chapitre « Présentation de la station d'analyse FDM ».

Le quatrième chapitre « Etude de cas (analyse de la dégradation des performances des B737-800 et Q400) ».

Et on termine par une conclusion.

I.1. Présentation de la compagnie

I.1.1. Définition

Tassili Airlines (code OACI : DTH ; code IATA : SH) est une compagnie aérienne algérienne filiale de la compagnie pétrolière Sonatrach. Elle assure historiquement des vols réguliers domestiques et le transport des ouvriers vers les gisements de pétrole et de gaz du Sahara algérien. Son hub principal est l'aéroport d'Alger. Depuis octobre 2011, Tassili Airlines propose une offre voyageurs pour le grand public [1].

I.1.2. Historique

- Tassili Airlines est créée le 4 mars 1998 et effectue ses premiers vols en avril 1999.
- Tassili Airlines est initialement une coentreprise entre la compagnie aérienne Air Algérie et la compagnie pétrolière Sonatrach. En 2005, elle devient une filiale à 100 % de Sonatrach après le rachat des actions que détenait Air Algérie. Sonatrach décide alors de restructurer la compagnie Tassili Airlines en un groupe aérien qui dispose de trois filiales :
 - Naftatassili Air, qui s'occupe du transport des travailleurs du secteur à partir des gisements d'hydrocarbures,
 - Tassili Airlines, qui s'occupe du transport public domestique et international, de passagers et de marchandises,
 - Tassili Travail Aérien (TTA), filiale de Tassili Airlines, qui s'occupe du travail aérien. En octobre 2010 une convention est signée avec le ministère de la santé algérien pour la fourniture d'équipages et d'avions capables d'assurer des évacuations sanitaires depuis le grand sud algérien vers les hôpitaux du nord du pays, pour la prise en charge des maladies graves (cancer, blessures graves...).
- Le 28 septembre 2011, Tassili Airlines reçoit l'autorisation du ministère des Transports algériens d'effectuer des vols grand public.
- Le 4 octobre 2011, la compagnie aérienne réceptionne son quatrième Boeing 737-800 et procède à l'inauguration de sa première agence commerciale, à l'aéroport d'Alger.
- Depuis fin novembre 2011, la compagnie aérienne a obtenu le label international de qualité IOSA, délivré par l'Association internationale du transport aérien (IATA).

- Le 28 septembre 2012, la compagnie a inauguré son premier vol international à destination de Rome.
- Le 5 juillet 2013, la compagnie a inauguré 02 vols internationaux à destination de Saint-Étienne et Grenoble en France [1].

I.1.3. Destinations

La compagnie Tassili Airlines dessert les principaux aéroports algériens, notamment ceux proches des zones pétrolières ou de gisements de gaz naturel du Sahara algérien tels que les aéroports d'Hassi Messaoud, d'Hassi R'Mel et de Zarzaitine. En juillet 2013, elle ouvre ses premières destinations des vols réguliers nationaux au grand public :

- Adrar- Aéroport d'Adrar - Touat - Cheikh Sidi Mohamed Belkebir
- Alger - Aéroport d'Alger - Houari Boumediene (**Base**)
- Annaba- Aéroport d'Annaba - Rabah Bitat
- Batna - Aéroport de Batna - Mostepha Ben Boulaid
- Béjaïa - Aéroport de Béjaïa - Soummam - Abane Ramdane
- Béchar- Aéroport de Béchar - Boudghene Ben Ali Lotfi
- Constantine- Aéroport de Constantine - Mohamed Boudiaf
- Djanet- Aéroport de Djanet - Tiska
- El Oued- Aéroport d'El Oued - Guemar
- Ghardaïa- Aéroport de Ghardaïa - Noumérat - Moufdi Zakaria
- Hassi Messaoud- Aéroport d'Hassi Messaoud - Oued Irara - Krim Belkacem (**Base**)
- Hassi R'Mel- Aéroport d'Hassi R'Mel - Tilrhemt
- Illizi- Aéroport d'Illizi - Takhamalt
- In Aménas- Aéroport de Zarzaitine - In Amenas
- Oran- Aéroport d'Oran - Ahmed Ben Bella
- Sétif- Aéroport de Sétif - 08 Mai 1945
- Tamanrasset- Aéroport de Tamanrasset - Aguenar - Hadj Bey Akhamok
- Tlemcen- Aéroport de Tlemcen - Zenata - Messali El Hadj [1].

I.1.4. La flotte de Tassili Airlines

Tassili Airlines possède aujourd'hui, en toute propriété, une flotte d'aéronefs de divers types qui lui permet de répondre, de façon adaptée, à la demande du marché aérien en Algérie [2].

La flotte de Tassili Airlines se compose de trente-et-un aéronefs :

- 4 Boeing 737-800 : 7T-VCA, 7T-VCB, 7T-VCC et 7T-VCD
- 4 Dash8-Q400
- 4 Dash8-Q200
- 3 Beechcraft 1900D
- 5 Pilatus PC-6
- 4 Cessna C208B
- 7 Bell Helicopter 206 Long Ranger [1].

I.1.5. Les activités de Tassili Airlines

Les activités principales de Tassili Airlines sont les vols Charters pour la société pétrolière Sonatrach et ses filiales, les compagnies pétrolières internationales et le travail aérien à travers sa filiale « Tassili Travail Aérien ».

Plus récemment, Tassili Airlines a étendu son réseau au service du grand public pour des vols charters internationaux et le transport régulier national et international.

➤ Vols réguliers

Depuis Mars 2013, Tassili Airlines s'ouvre au Grand Public. Nous proposons des destinations variées qui satisferont à votre besoin de déplacement.

➤ Mise à disposition

Tassili Airlines propose des contrats de mise à disposition d'appareils pour une période donnée, généralement d'une (01) année ou plus, où Tassili Airlines « Fréteur » affecte au client « Affréteur » des aéronefs contre le paiement d'un forfait mensuel représentant un

volume horaire appelé aussi « Minimum Garanti ». Le seuil horaire est fixé en commun accord entre les parties contractantes en tenant compte de deux principaux facteurs:

- Le besoin du client en matière de transport aérien (estimation de l'exploitation de l'appareil) ;
- Le potentiel mensuel devant être réalisé par l'aéronef.

➤ Navette

Depuis Avril 2009, une navette quotidienne a été mise en place par Tassili Airlines, pour assurer la liaison Alger – Hassi Messaoud et retour destinée exclusivement aux entreprises.

➤ Vol à la demande

Tassili Airlines propose une panoplie de services consistant à mettre à la disposition du client, de façon ponctuelle, des aéronefs pour assurer la réalisation de missions variées telles que:

- Le transport des délégations ;
- Les prises de vue aériennes ;
- Les levées topographiques ;
- Divers missions conjoncturelles.

➤ Vols charter

Tassili Airlines offre aux Agences de Tourisme, de voyage ou Tour Opérateurs la possibilité de mettre en place pour leur clientèle des vols charters internationaux suivant la période qui convient à ces agences et à des tarifs concurrentiels.

➤ En hydrocarbures

- Transport de la petite relève du personnel du secteur des hydrocarbures ;
- Transport de délégations du secteur des hydrocarbures (TAXI et VIP) ;
- EVASAN (Evacuation sanitaires) ;
- La surveillance héliportée des installations industrielles ;
- Lavage des isolateurs des lignes électriques HT et THT, la thermographie et les

inspections visuelles ;

- De l'offshore hélicopté.

➤ **En agricole**

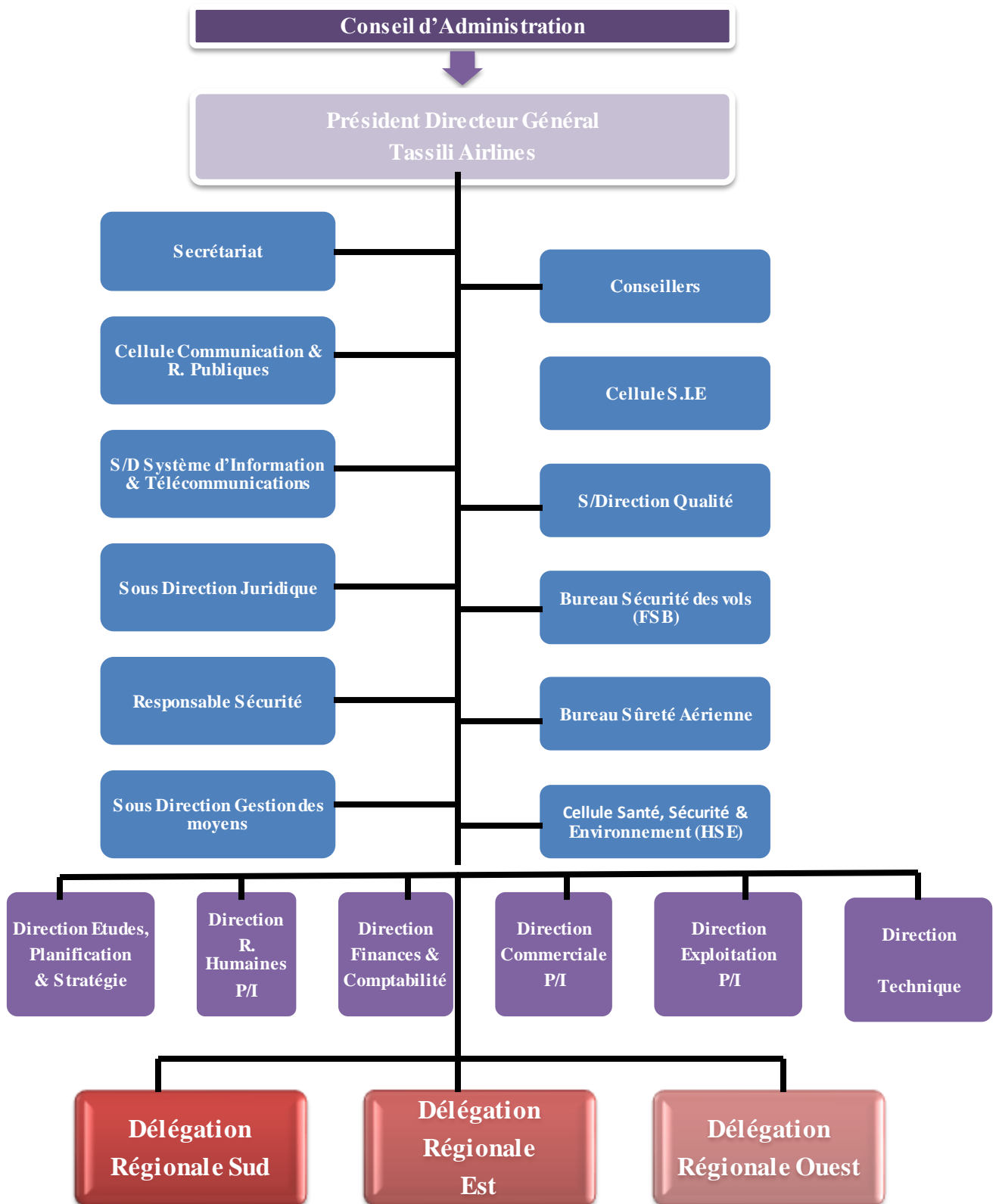
- Traitement phytosanitaire par voie aérienne ;
- La lutte contre les feux de forêts.

➤ **Autres**

- Transport de passagers version TAXI et VIP ;
- EVASAN (Evacuation sanitaires) ;
- Des levés topographiques et modélisation en 3D hélicoptés par satellite «laser» ;
- Du service de prises de vue aériennes, documentaires, publicités, film,.....[2].

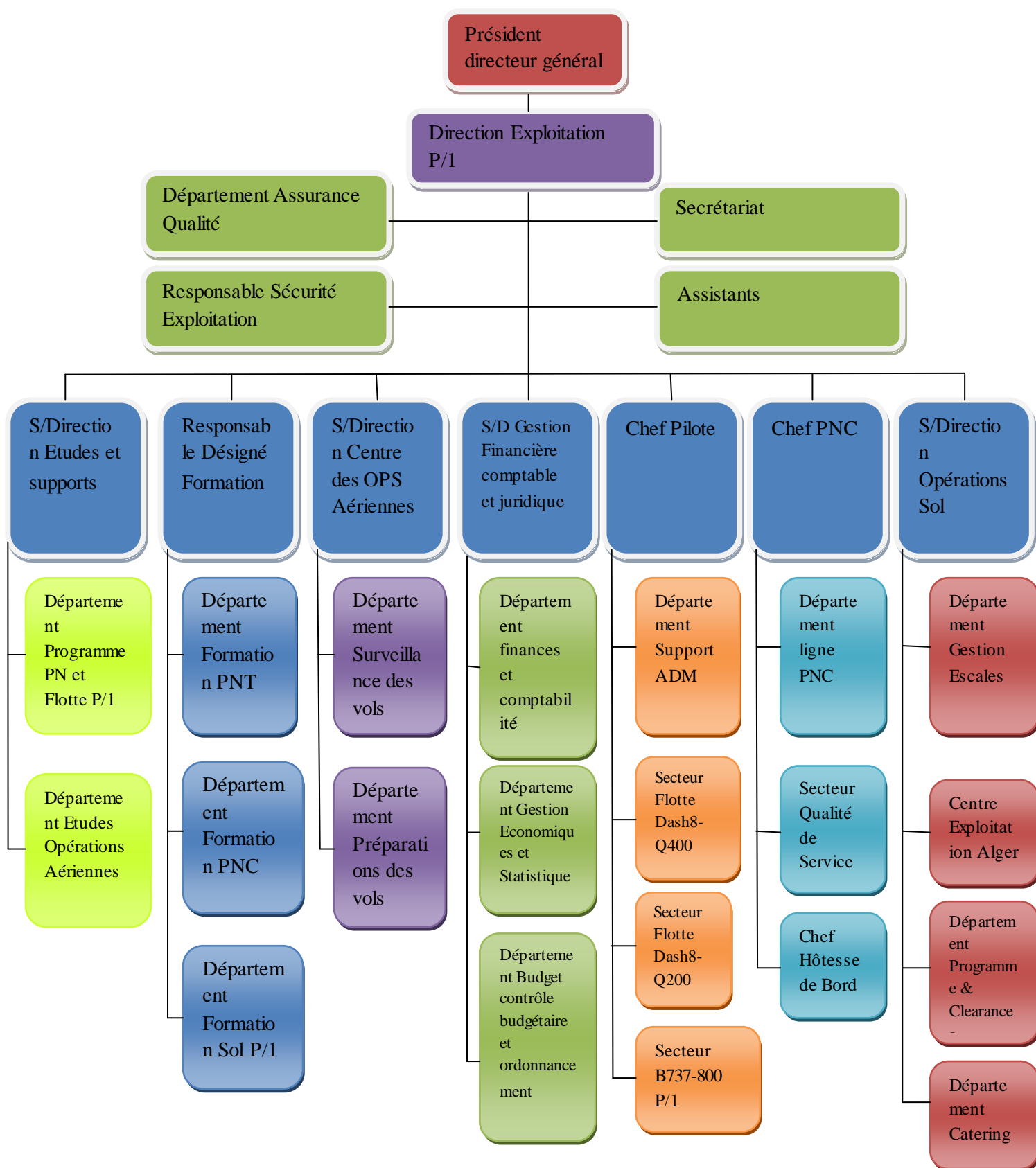
I.2. Structure de l'organisation de la compagnie

I.2.1. Organigramme d'ensemble de la compagnie aérienne Tassili Airlines



Figure(I.1) : Organigramme d'ensemble de la compagnie aérienne Tassili Airlines [3].

I.2.2. Organigramme général de la direction Exploitation



Figure(I.2) : Organigramme général de la direction Exploitation [3].

I.3. Les missions de la Direction Exploitation

Le Directeur Exploitation est le responsable désigné des opérations aériennes et des opérations au sol.

Sous l'autorité du Président Directeur Général, le Directeur Exploitation a pour missions de :

- Exécuter le programme d'exploitation arrêté par la compagnie dans des conditions de sécurité, de sûreté, de régularité, de qualité et de rentabilité économique conformément à la réglementation aéronautique nationale et internationale et aux procédures de la compagnie ;
- Mettre en œuvre, coordonner et contrôler la bonne exécution de l'ensemble des activités qui ont pour but la préparation, l'exécution, le suivi et le contrôle des vols programmés ;
- Présider la cellule de crise ;
- Participer, en qualité de membre dans le comité de sécurité et la cellule incident.

En matière de sécurité le Directeur est responsable de :

- Veiller à ce que la fonction de suivi de la sécurité soit mise en œuvre dans leur service ;
- Veiller au respect de la réglementation ;
- Veiller à l'application des procédures de gestion du risque et de gestion du changement concernant leur service ;
- Mettre à disposition les compétences et ressources nécessaires de son service pour le fonctionnement du SGS, en particulier pour la gestion des risques ;
- S'assurer que les personnels sous leur autorité ont suivi les formations adéquates ;
- Faire remonter au responsable SGS toute information pertinente nécessaire à l'accomplissement de ses tâches ;
- Mettre en œuvre les actions préventives et correctives relevant de leur service [3].

I.4. Etude des performances de l'appareil B737-800

I.4.1. Description de l'appareil

Le Boeing 737 est un avion de ligne construit par la société Boeing. Il s'agit d'un biréacteur (deux moteurs, un sous chaque aile) court à moyen-courrier. Cette version appartient à la nouvelle génération (NG) équipée d'un cockpit ultra-moderne entièrement numérique [1].

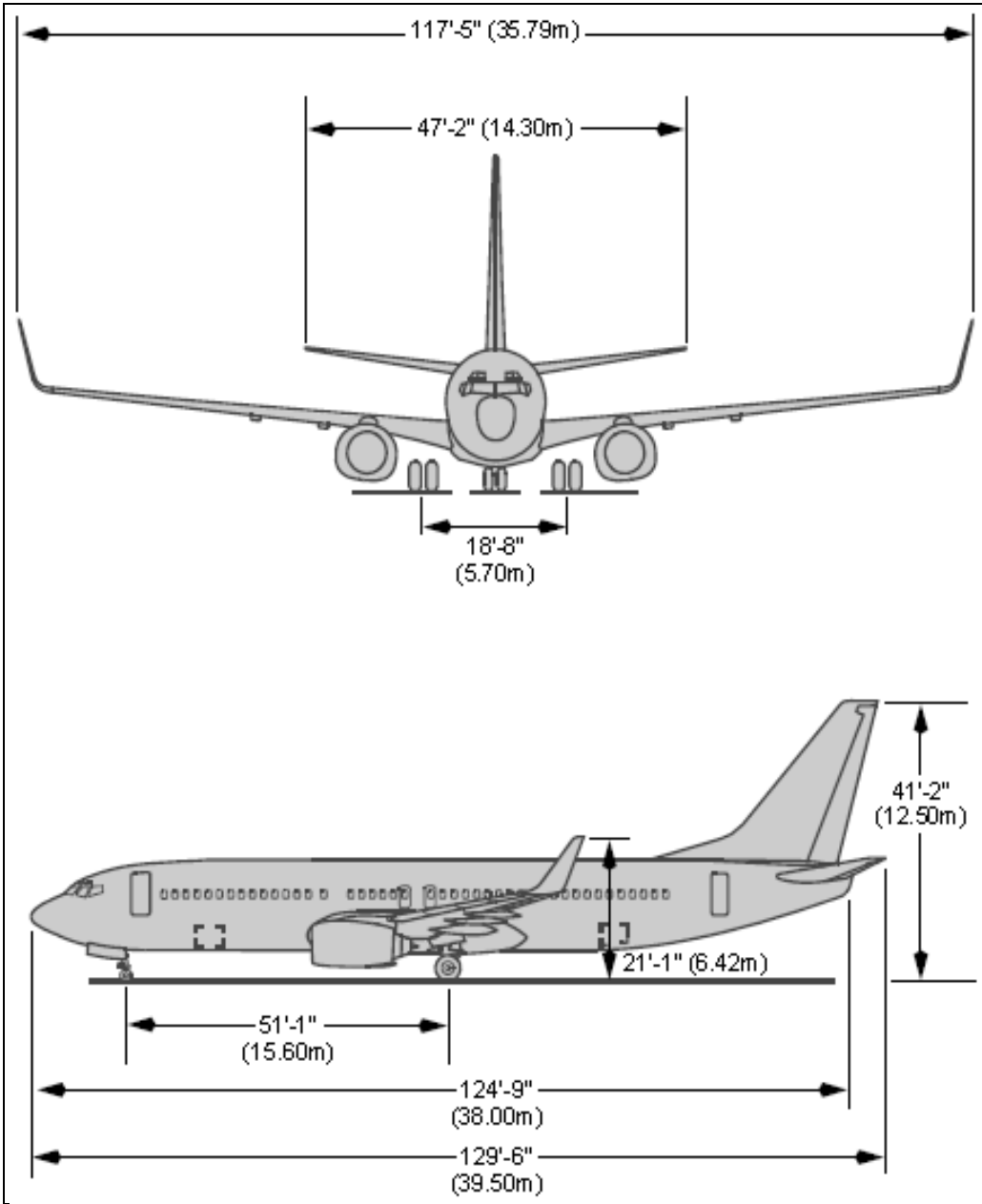


Figure (I.3) : Dimensions d'un B737-800 [4].

I.4.2. La fiche technique de l'appareil B737-800

Renseignements généraux	
Nombre, forme et position de l'aile	1, flèche, aile basse
Type d'empennage	└┘ Classique
Train d'atterrissage	Tricycle
Nombre d'équipages	2
Nombre de passagers	162-189
Motorisation	
Nombre des moteurs	2
Type	CFMI CFM56-7B
Poussée	1214 KN
Dimensions	
Longueur	39.5 m
Envergure	35.79 m
Hauteur maximale	12.5 m
L'empattement	15.6 m
Hauteur fuselage	6.42 m
Masses	
Masse à vide	28 650 à 44 700 Kg
MTW	79 242 Kg
MTOW	79 015 Kg
MLW	65 317 Kg
MZFW	62 731 Kg
La charge utile	44.41 t
Capacité réservoir	26 020 L
Vitesses	
Vitesse de croisière	M0.78 (828 Km/h)
VMO	876 Km/h
Limitations opérationnelles	
Pente de la piste	+/-2%
Vent arrière maximal au décol. Et à l'att.	10 Kts
Altitude opérationnelle maximale	41000 ft

Altitude maximale de décol. et d'att.	8400 ft
Pressurisation	9.1 psi
Rayon d'action (Autonomie)	5665 Km

Tableau (I.1) : La fiche technique de l'appareil B737-800 [4].

I.5. Etude des performances de l'appareil Q400

I.5.1. Description de l'appareil

Le Q400, fabriqué par Bombardier Aéronautique, est un avion destiné au transport des personnes. Appelé initialement DHC-8-400 lorsque il a été fabriqué par de Havilland Canada (DHC), il a été renommé Q400 après l'acquisition en 1992 de DHC par Bombardier.

Le Dash 8-Q400 est le plus gros appareil de la série Dash 8 (10,1 mètres plus long que le Dash 8-Q100). Il possède 2 turbopropulseurs PW150A à 6 pales, contrairement aux autres moteurs de Dash 8 qui en possèdent 4. La lettre « Q » dans Q400 est pour quiet (« silencieux »), l'utilisation de 6 pales réduisant l'émission sonore. Le Q400 possède aussi le Noise and Vibration Suppression (NVS), un système réduisant les vibrations et le bruit. Il consomme moins de carburant et émet moins de gaz polluant. Il est aussi l'un des plus rapides avions turbopropulsés avec sa vitesse de croisière moyenne de 670 km/h [1].

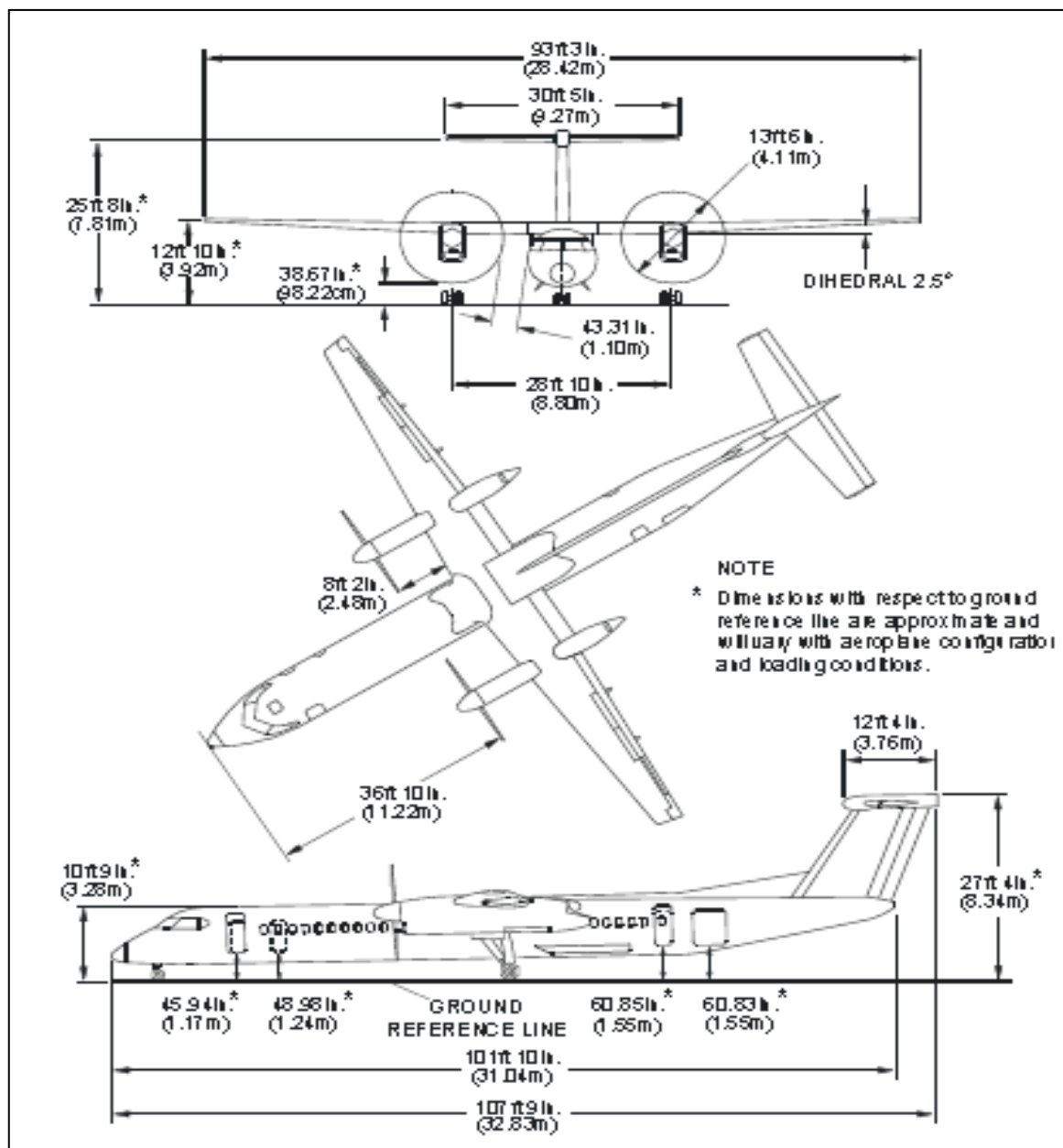


Figure (I.4) : Dimensions d'un Q400 [5].

I.5.2. La fiche technique de l'appareil Q400

Renseignements généraux	
Nombre, forme et position de l'aile	1, flèche, haute
Type d'empennage	En T
Train d'atterrissage	Tricycle
Nombre d'équipages	2
Nombre de passagers	78

Chapitre I : Présentation de la compagnie et de sa flotte

Motorisation	
Nombre des moteurs	2
Type	Pratt & Whitney Canada PW123A
Puissance unitaire	3410 Kw
Dimensions	
Longueur	32.83 m
Envergure	28.42 m
Hauteur maximale	8.34 m
L'empattement	13.94 m
Hauteur fuselage	3.28 m
Masses	
Masse à vide	29.347 t
MTOW	29.257 t
MLW	28.009 t
MZFW	25.855 t
La charge utile	9.36 t
Capacité réservoir	6526 L
Vitesses	
Vitesse de croisière	670 Km/h
VMO	242 Kt
Limitations opérationnelles	
Pente de la piste	+/-2%
Altitude opérationnelle maximale	7620 m
Pressurisation	5.95 psi
Rayon d'action (Autonomie)	2522 Km

Tableau (I.2) : La fiche technique de l'appareil Q400 [5].

Introduction

L'un des principaux soucis des compagnies aériennes est de permettre une économie de carburant, par conséquent elles cherchent à déterminer avec précision la consommation du carburant pour trouver la quantité à embarquer pour un vol donné.

La réglementation impose en plus du délestage prévu sur une étape, certaines réserves de carburant pour faire face à certaines situations. Les calculs de carburant sont effectués à partir des données de consommation fournies par le constructeur de l'avion, mais en réalité, chaque avion s'éloigne légèrement de ces performances.

Pour des raisons de sécurité, on considère que ces performances sont moins bonnes que celles annoncées, ce qui conduit à embarquer un surplus de carburant par rapport à la quantité calculée, et pour cela les compagnies cherchent à développer des programmes de suivi de dégradation des performances en calculant un paramètre qui s'appelle le coefficient de dégradation.

II.1. Définition du suivi des performances

Le suivi des performances d'avion se rapporte au processus global de :

- L'enregistrement des données de performance croisière à bord d'un avion.
- Comparaison de ces données enregistrées aux prédictions fournies par la base de données de performances (base de référence, ou livre de performance).
- Suivi des changements de ces comparaisons au fil du temps.
- Utiliser ces informations pour planifier avec plus de précision les exigences de chargement de carburant [6].

II.2. Les enjeux de suivi des performances

- Identifier le besoin d'ajuster les niveaux des performances de base.
 - Planification des vols et prédictions de FMC
 - Calculs des performances de manuel d'exploitation
- Etablir le niveau de performance de base pour chaque avion et suivre sa tendance à long terme.

- Identifier la détérioration normale pour une flotte d'avions.
- Identifier les problèmes d'avions (ainsi que les bon avions)
 - Une éventuelle action de maintenance exigée
 - Une éventuelle restriction ou optimisation de route
- Valider une dégradation des performances pour minimiser l'allocation de détérioration de la consommation de carburant pour les ETOPS (la planification des réserves de carburant critique).
- Augmente la confiance d'équipage de conduite dans les plans de vol
 - Le carburant à bord à l'atterrissage sera plus correspondant au plan de vol
- Minimiser la surcharge ou sous-charge de carburant
- Assez de carburant doit toujours être chargé pour garantir la sécurité des vols
- Le chargement de trop de carburant augmente la quantité totale de carburant brûlé, car l'avion doit brûler le carburant supplémentaire pour transporter le poids du carburant inutile [6].

II.3. Détermination de déviation de performances

- Enregistrement continu des données de croisière
- Calculer les performances réelles (observées) basées sur les données enregistrées
- Calculer les performances prévues pour les mêmes conditions comme les données enregistrées de croisière (le même mach, alt, poids, %N1/EPR, etc...)
- Comparer les performances réelles aux performances prévues pour déterminer des déviations pour 4 paramètres spécifiques :
 - Consommation de carburant
 - Poussée exigée (effet de la cellule)
 - Débit de carburant (effet de moteur)
 - Réglage de la puissance exigée (taux de pression moteur ou %N1)

$$\% \Delta FM = \left[\frac{FM_{\text{observée}} - FM_{\text{de base}}}{FM_{\text{de base}}} \right] * 100$$

$$\% \Delta FN = \left[\frac{FN_{\text{observée}} - FN_{\text{de base}}}{FN_{\text{de base}}} \right] * 100$$

$$\% \Delta FF = \left[\frac{FF_{\text{observée}} - FF_{\text{de base}}}{FF_{\text{de base}}} \right] * 100$$

$$\Delta \% N1_{\text{required}} = \% N1_{\text{observée}} - \% N1_{\text{de base}}$$

$$(\% \Delta FN + \% \Delta FF = -\% \Delta FM) [6].$$

II.4. Les paramètres affectant la dégradation

La dégradation des performances est due à l'un de ces deux causes :

II.4.1. Dégradation des moteurs

Pour des conditions extérieures données et une valeur de N1 mesurée, la comparaison de la consommation réelle à la consommation théorique (prévue pour donner cette valeur de N1) permet de détecter une dégradation dans le fonctionnement du réacteur. Une action de maintenance peut alors être envisagée [7].

II.4.2. Dégradation des performances aérodynamiques de la cellule

Pour des conditions de vol données, la poussée et donc le N1 devrait avoir une certaine valeur théorique. La valeur réelle mesurée permet de détecter une dégradation. Cette dégradation peut être imputée à différents facteurs :

- a) La cellule qui traîne plus que prévu, si la différence est importante, une action de maintenance pourra dans ce cas également être lancée.
- b) La masse avion, une pesée de l'avion permettra de corriger éventuellement la masse de base de l'avion.

D'autre part, la masse totale est obtenue notamment en prenant en compte une masse forfaitaire pour les passagers. Suivant les lignes, cette masse peut s'avérer éloignée de la réalité (sur les lignes vers l'Asie par exemple, les passagers sont statistiquement plus légers que vers les Etats-Unis). Un traitement des relevés par destination du vol permettra de confirmer cette hypothèse [7].

II.5. Les données nécessaires pour le suivi des performances

Les données nécessaires pour analyser les performances d'un avion pour un vol donné sont les suivantes :

Paramètres	unité	commentaire
Immatriculation	(-)	
Date	JJ/MM/AA	
Case de vol ou DMU (temps d'enregistrement)	1-99	Nombre de données dans le même vol, s'il n'y a pas le programme met 1
	HH/MM	Temps dans lequel les performances sont prises
Numéro de série moteur	(-)	
Altitude	ft	A partir des 2 ADC
Mach	(-)	A partir des 2 ADC
TAT (température)	C°	A partir des 2 ADC
Masse avion (poids)	Kg/LB	
Centre de gravité	%	
Accélération horizontale	G	Mesuré en g
Vitesse verticale V_z	Ft/mn	Accélération verticale
Cap vrai	(°)	Optionnel utilisé uniquement si la correction de gravité est activé
Latitude	(°)	Optionnel utilisé uniquement si la correction de gravité est activé
Vitesse du vent	Kt	Optionnel utilisé uniquement si la correction de gravité est activé
Direction du vent	(°)	Optionnel utilisé uniquement si la correction de gravité est activé

Chapitre II : Notions et définitions sur la dégradation des performances

Température moyenne du carburant	C°	Non activé
Densité moyenne du carburant	L/Kg	Non activé
N1- réglage puissance EPR réglage puissance	%	Dépend de type moteur EPR pour les IAE, RR, P&W N1 : pour GE, CFM
Le débit carburant (FF) actuel	Kg/h ou LB/H	Débit moteur réacteur
EGT	C°	Réglé pour chaque moteur
Température basse d'échauffement du carburant (FLHV)	BTU/LB	(-)
Le débit de prélèvement du moteur gauche	Kg/S ou LB/S	Moteur 1 (biréacteur) Ou 1+2 (quadriréacteur)
Le débit de prélèvement du moteur droit	Kg/S ou LB/S	Moteur 2 (biréacteur) Ou 3+4 (quadriréacteur)
Code de prélèvement (BLEED) (facultatif d'ajouter le débit)	(-)	O Off E Economique (bas) N Normal H High (max)

Tableau (II.1) : Les données nécessaires pour le suivi des performances [7].

II.6. L'utilisation des résultats de suivi des performances

Les résultats de suivi des performances avions sont utilisés dans le but de :

- ✓ Ajuster le facteur performance (RS) pour :
 - Plan de vol technique (JETPLAN) ;
 - Les prédictions FMS.
- ✓ Pour contrôler les conditions périodiques de l'avion dans le but d'analyser la tendance d'un avion donné ou la flotte, et actionner les corrections :
 - au niveau de maintenance ;

- Les restrictions de routes.
- ✓ Pour démontrer le facteur performance pour ETOPS qui peut dépasser le 5% imposé par la réglementation ;
- ✓ Il permet de développer les statistiques sur la consommation du carburant de la flotte et établir une politique d'économie carburant pour la compagnie [7].

II.7. Processus de suivi de performances

II.7.1. Description du système de gestion de vol FMS

II.7.1.1. Définition du système de gestion de vol FMS

Le système de gestion de vol ou FMS (pour Flight Management System) ou encore manager de vol est un logiciel embarqué en avionique. Son but est d'assister le pilote pendant le vol en fournissant des renseignements sur le pilotage, la navigation, les estimées, la consommation de carburant, etc [1].

II.7.1.2. Fonctionnalités

Il existe différents systèmes de gestion de vol dont les capacités et les fonctionnalités peuvent fortement varier en fonction de l'appareil ciblé (hélicoptère, avion de ligne...), de son usage (civil, militaire...) et d'autres facteurs (époque de conception notamment) :

➤ **Base de données de navigation**

La base de données de navigation ou NDB (pour Navigation DataBase) contient toutes les informations nécessaires à l'élaboration d'un plan de vol. Notamment :

- Voies aériennes
- Points de route (Waypoints)
- Aéroports
- Pistes
- Procédures d'approche (Standard Arrival - STAR) et de départ (Standard Instrument Departure - SID)
- Données radio de navigation

Cette base de données est mise à jour régulièrement (généralement 28 jours en aviation civile), le plus souvent au sol avant le vol. Certains FMS autorisent également le pilote à

charger sa propre NDB, en supplément de la NDB officielle. Les bases de données standards sont générées par des organismes appelés « Data Source Providers » (par exemple Jeppesen, LIDO, NavTech...) qui recensent les différentes procédures, et fournissent des bases de données brutes aux systémiers, afin de les intégrer dans leurs FMS.

➤ **Plan de vol**

Le pilote dispose d'une interface lui permettant avant le départ d'entrer son plan de vol. Il s'agit d'une sorte de « contrat » passé au préalable avec les autorités du contrôle aérien qui décrit la façon dont le vol va se dérouler.

➤ **Trajectoire**

À partir du plan de vol, le FMS peut calculer la trajectoire à suivre, qui sera affichée sur les écrans de visualisation et une estimation de l'ensemble des données susceptibles d'être utiles au pilote pendant le vol : heures de passage aux différents points du plan de vol, estimation de la quantité de fuel à bord, etc.

➤ **Guidage**

Certains managers de vol incluent un système de guidage. Une fois une trajectoire calculée, le pilote peut choisir de suivre celle-ci manuellement ou de manière automatique. Dans les deux cas, le module de guidage lui fournira les informations nécessaires (vitesses, angles, altitude, vitesse à atteindre, etc.) voire prendra en charge certaines des actions à effectuer. Cette fonctionnalité est proche du pilotage automatique.

➤ **Localisation**

En vol, l'une des charges principales d'un système de gestion de vol consiste en la détermination précise de la localisation de l'appareil. Pour ce faire, le système dispose généralement de plusieurs sources (VOR, GPS, DME et IRS).

➤ Le pilote automatique

Le FMS est en général couplé au pilote automatique qui a pour charge de piloter l'avion en fonction des ordres de guidage envoyés par le FMS.

➤ VNAV

Une fonctionnalité complémentaire est la fonctionnalité VNAV qui permet de programmer des points verticaux [1].

Note : Ces fonctionnalités peuvent être classées en :

- Fonctionnalité PMS
- Fonctionnalité RNAV [7].

II.7.1.3. Les composantes du système

1. CDU (control and display unit) ou MCDU (Multipurpose Control and Display Unit) c'est l'interface 'homme-machine' permettant :
 - L'insertion du plan de vol E ;
 - La visualisation des valeurs instantanées S + alarmes.
2. FMC (Flight Management Computer) : calculateur numérique traitant les informations E et S pour en tirer des ordres optimisés Eopt à donner CADV.
3. DB (Data Base) Base de données :
 - Performances 'avion + moteurs' ;
 - Navigation ;
 - Infrastructure [7].

a. CDU ou MCDU

Interface de commande et de contrôle assurant les fonctions suivantes :

- Insertion initiale et actualisation par un clavier multiplexé et éclairé ;
- Visualisation du 'plan de vol' et d'informations sur plusieurs pages par un écran polychrome ;
- Signalisation de messages de défaillance ;
- Affichage 'ambre' des informations de défaillance ;
- Affichage 'rouge' des informations concernant la sécurité [7].

Chapitre II : Notions et définitions sur la dégradation des performances

Chaque pilote dispose d'un CDU ou MCDU généralement disposée sur le pylône central du cockpit :

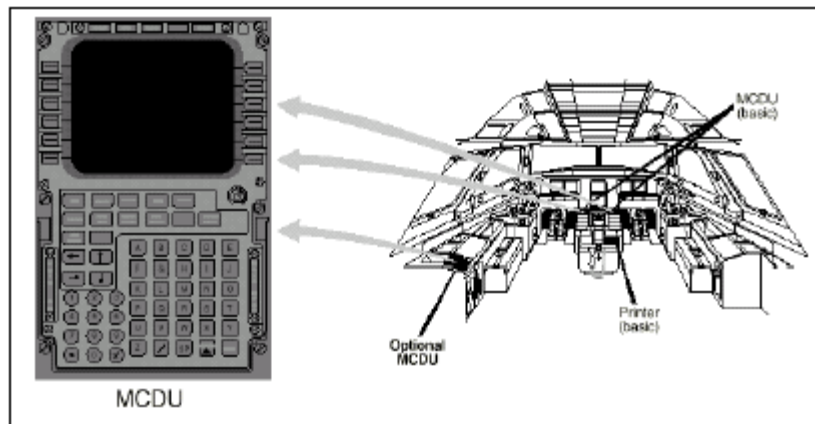


Figure (II.1) : L'interface MCDU [7].

b. FMC

Calculateur numérique haute capacité effectuant les calculs de navigation et de performance ainsi que l'élaboration des ordres de guidage et de gestion de trajectoire.



Figure (II.2) : L'interface FMC [7].

Le dialogue avec le FMC s'effectue via le MCDU. L'équipage peut entrer des données dans le FMC en utilisant indifféremment n'importe quelle interface. Chaque pilote peut choisir de façon indépendante la page désirée sur son propre MCDU [7].

II.7.1.4. Les informations exploitées par le FMS

(1) Les données « plan de vol » :

- Aéroport de départ (piste (QFU)) ;
- Aéroport d'arrivée (piste (QFU)) ;
- Aéroport de dégagement ;
- Routes, altitudes ;
- Masse 'avion' sans carburant (ZFW) et carburant au bloc ;
- Température et vent prévus ;

(2) Les valeurs instantanées des paramètres 'avion+moteurs' fournies par les capteurs ;

Les capteurs fournissant sont :

- Pour la fonctionnalité « PMS » :
 - centrale aérodynamique ADC => paramètres aérodynamiques de vol ;
 - débitmètres FF (Fuel Flow) + jaugeurs éventuellement FQ (Fuel Quantity) => consommation « carburant » et masse instantanée « avion ».
- Pour la fonctionnalité « RNAV » :
 - centrale inertielle IRS ou INS ;
 - récepteurs VOR/DME ;
 - récepteurs ILS ;
 - récepteurs GPS. } => paramètres de localisation

(3a) La partie « performances 'avion+moteurs' » de la base de données

⇒ informations figurant habituellement dans le manuel d'utilisation de l'avion (ainsi que éventuellement des données spécifiques aux moteurs) ;

(3b) La partie « navigation » de la base de données

⇒ informations définissant l'atmosphère standard, les aides à la radionavigation (NAVAIDS), les routes aériennes (AIRWAYS), les aéroports (AIRPORTS).....

En fait, les données « plan de vol » suffisent à déterminer directement :

- Le profil de vol optimal ;
- Les informations « segments ou tronçons » (legs) dans le plan horizontal.

(3a) et surtout (3b) sont spécifiques à l'exploitant qui se doit, par sécurité, de les actualiser (Data Loading) avec une périodicité convenable.

Précisons également que (3b) comporte :

- La localisation et les caractéristiques d'émission des aides de radionavigation (balises NDB, stations VOR/DME, émetteurs ILS, indicatifs et fréquence) ;
- Les caractéristiques d'exploitation des pistes d'aéroport (QFU, longueur de piste, altitude terrain) ;
- Les cheminement de départ et d'arrivées de zone terminales d'aéroport (SID et STAR) ;
- Les contraintes ATC éventuelles (niveau de vol et vitesse) [7].

II.7.1.5. Les informations fournies par le (FMS)

Diverses fonctions sont visualisables sur l'écran du CDU ou MCDU sous la forme de 'pages' dont l'apparition est commandée à partir du clavier et qui concernent :

- La gestion « verticale » :
 - ⇒ Points de fin de montée ou de début de descente en temps, distance, consommation ;
- La gestion « horizontale » :
 - ⇒ Position instantanée P ;
 - ⇒ Temps, distance, consommation, jusqu'à ou depuis un point de report (WayPoint) du plan de vol ou un nouveau point inséré « en route » ;
 - ⇒ Ecart/ route programmée => XTK ;
 - ⇒ Utilisation d'une route // route programmée (offset) ;
 - ⇒ Utilisation d'hippodromes d'attente (holding patterns) ;
 - ⇒ Temps, distance, consommation prise en compte d'un déroutement ou dégagement (alternate) ;
- Les paramètres de décollage, de vol et d'atterrissage (vitesses économiques, niveaux optimums, vitesses caractéristiques) ;
- Les données de navigation mémorisées.

La position P est déterminée par le FMC :

- En survol océanique ou désertique, à partir de l'information issue des centrales IRS ou INS, le FMS calcule une position dite 'mix IRS'.
- En portée d'une station VOR/DME, par 'recalage' de l'information IRS ou INS sur l'information DME (la position géographique de la station étant connue) ;
- En survol continental où la densité de stations est importante, par 'recalage' de l'information IRS ou INS sur 2 informations DME (les positions géographiques des stations étant connues) ;
- En hybridant l'information IRS à partir d'un récepteur GPS pour les avions les plus récents A321, A340,...

Il convient encore de savoir :

- Que le recalage volontaire de P par le PH est toujours possible « en route » en insérant dans le CDU ou MCDU une position déterminée à l'aide d'une information QDM/VOR + distance DME par exemple ;
- Que 2 vols successifs ne sont pas considérés par le FMS comme dépendants => si P indiquée à l'arrivée à l'escale \neq P insérée par le PH pour le départ de l'étape suivante, seul un message d'alerte sera visualisé par le CDU ou MCDU ;
- Que lorsque l'avion est aligné sur la piste pour décoller, le système se recalcule sur la position du deuil mémorisée en Data Base. P est alors comparée par le FMC avec P réelle => l'écart éventuel est pris en compte pour la détermination des P futures (erreur à l'origine ou biais).

Différents messages destinés à l'information de l'équipage ou lui proposant d'effectuer une action déterminée sont susceptibles d'apparaître sur l'écran du CDU [7].

II.7.2. Enregistrement des données

La récupération des données est le point clé du suivi des performances, la qualité et la quantité des données déterminent la rentabilité du suivi des performances, et pour cela il existe deux procédures de récupération des données :

1. L'enregistrement manuel des données de vol
2. L'enregistrement automatique basé sur les enregistreurs à bord de l'avion (ACMS)

Les procédures sont développées durant les conditions stables du vol, pour tous les types d'avions la collection des données peut être manuelle par un membre d'équipage (PNT) ou par un spécialiste chargé par la direction des opérations aériennes, par contre il est déconseillé d'utiliser cette méthode devient ennuyeuse lorsque elle devient systématique (travail de routine) et augmente la charge de travail de l'équipage, c'est pour cette raison qu'il y a une méthode simultanée et indépendante pour augmenter le niveau de fiabilité de suivi des performances [7].

II.7.2.1. Enregistrement manuel

Est utilisé lorsque l'avion n'est pas équipé de matériel nécessaire à l'enregistrement automatique (ACARS ou ACMS). L'opérateur est chargé d'introduire manuellement les paramètres provenant de la fiche performance log dans le module d'acquisition manuelle des données [7].

Les avantages :

- Aucun changement d'ACMS n'est nécessaire [6].

Les inconvénients :

- Charge de travail supplémentaire pour l'équipage
- Moins de données et peu de paramètres enregistrés
- Une plus grande probabilité d'enregistrer des données instables
- Exige d'entrée manuelle des données au format de fichier électronique [6].

II.7.2.2. Enregistrement automatique

Il est basé sur les enregistreurs à bord de l'avion (ACMS), et les fonctions du system ACARS qui assure la liaison entre l'avion et le support sol [7].

Les avantages :

- Aucun impact sur la charge de travail d'équipage ;
- Assure/ mesure les conditions de stabilité;
- Recherche continuellement des données de meilleures qualités [6].

Les inconvénients :

- exige des modifications de l'ACMS
- peut exiger un poste de traitement [6].

➤ **L'ACARS (Aircraft Communication Addressing and Reporting System)**

ACARS est un système de communications codées entre un aéronef et une station au sol. C'est un système de communication et de surveillance par radio utilisé en aviation par les exploitants d'aéronefs. Il permet le contrôle automatique de l'état de l'avion en vol, envoyé vers le centre de maintenance de la compagnie aérienne propriétaire de l'avion, mais aussi l'acheminement de communications opérationnelles et logistique. Ainsi le service de maintenance sait bien avant l'arrivée de l'avion son état, ses pannes éventuelles et donc les interventions à effectuer.

La VHF et la HF, supports de base des ACARS dans les années 1970 sont maintenant appuyées par les liaisons par satellites (SATCOM (en)) dans les zones océaniques.

Le sigle ACARS désigne le système complet qui inclut les équipements de bord, les infrastructures et équipements au sol et le fournisseur de service [1].

➤ **L'ACMS (système de surveillance de l'état de l'aéronef)**

Indispensables pour établir les rapports destinés aux autorités de navigabilité, les données de bord le sont également pour améliorer la performance des avions et optimiser leur durée de vie. La particularité des systèmes d'aide à la maintenance (ACMS – Aircraft Condition Monitoring Systems –) développés par Sagem est de collecter une large gamme de données. Les ACMS vous permettent ainsi de surveiller et de contrôler l'état des systèmes et des équipements de bord, mais aussi les variations des conditions de vol et d'opération des appareils. Entièrement personnalisables, les ACMS peuvent être programmés pour anticiper les risques de défaillance des systèmes de l'avion. Disponible désormais en version Wireless, les boîtiers pour Airbus & Boeing peuvent transmettre en 3G les données de vol [8].

II.7.3. Méthodes d'analyses

Il existe principalement trois méthodes pour comparer le niveau réel des performances avion au niveau théorique donné par le constructeur celui du prototype :

- a) méthode du carburant utilisé (FUEL USED)
- b) méthode de carburant embarqué (FUEL ON BOARD)
- c) méthodes de rayon spécifique (SPECIFIC RANGE).

NB : la méthode la plus utilisée est celle de rayon spécifique (SR) [7].

II.7.3.1. Méthode du carburant utilisé

Le principe de cette méthode est de mesurer le carburant consommé dans un niveau de vol et le comparer avec les prédictions du FCOM (section flight planning) ou bien avec les calculs de logiciel des performances (hight speed performance calculator).

L'inconvénient de cette méthode c'est qu'elle fournit moins d'informations que la méthode de rayon spécifique et elle est moins précise à cause de manque de stabilité dans les données observées [7].

II.7.3.2. Méthode du carburant embarqué

Cette méthode compare le carburant consommé durant tout le vol avec le carburant estimé par le JETPLAN, la consommation réelle doit être corrigée en réduisant la différence entre la consommation réelle et celle prévue par le JETPLAN [7].

II.7.3.3. Méthode de rayon spécifique

a. Présentation de la méthode

Les données enregistrées dans le vol représentent l'état actuel des performances fuselage/moteur pour mesurer le rayon spécifique qui représente la consommation réelle de l'avion (KG/NM)

Cette méthode représente le niveau des performances fuselage/moteur dans des conditions stabilisées et constitue ainsi le critère principal de référence [7].

b. Définition du rayon spécifique (RS)

Le rayon spécifique (RS) est la distance parcourue par une unité du carburant consommé ; il est égale à :

$RS (sol) = \text{Vitesse sol (GS)} / \text{consommation carburant par heure (FF)}$

$RS (air) = \text{Vitesse air (TAS)} / \text{consommation carburant par heure (FF)}$
--

Le rayon spécifique dépend des caractéristiques aérodynamiques (M, finesse, masse avion, vitesse de son au niveau de la mer).

The diagram shows the equation for specific range (SR) enclosed in a black box. The equation is $SR = \frac{a_0 M \frac{L}{D}}{\frac{SFC}{\sqrt{\frac{T}{T_0}}} mg}$. Three red circles highlight the terms $M \frac{L}{D}$, $\frac{SFC}{\sqrt{\frac{T}{T_0}}}$, and mg . Red arrows point from these circles to the labels 'Aérodynamique', 'Moteur', and 'Poids' respectively.

Tel que :

SR : le rayon spécifique (NM/KG)

a_0 : vitesse du son au niveau de la mer (m/s)

M : nombre de Mach

L/D : rapport portance /traînée (finesse)

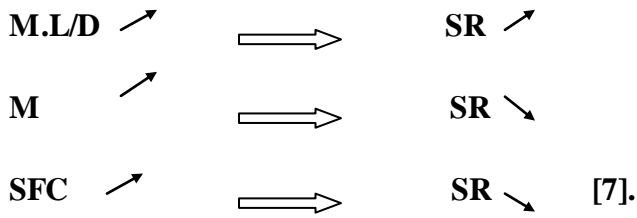
SFC : consommation spécifique

m : masse avion (kg)

T : température (Kelvin)

T_0 : c'est la température statique (Kelvin)

Donc :



c. Le principe de la méthode

Les paramètres suivants sont déterminés à base des données enregistrées dans une étape du vol stabilisé :

- RS actuel ;
- ΔRS entre l'actuel et la théorie
- $\Delta EPR/N1$ nécessaire pour maintenir les conditions de vol ;
- ΔFF (débit carburant) résultant de $\Delta EPR/N1$;
- ΔFF nécessaire pour maintenir cette $\Delta EPR/N1$ [7].

Notes :

- L'estimation de RS est obtenue grâce à l'IFP (In Flight Performance calculator program)
- APM compare entre les données enregistrées et le LEVEL BOOK ;
- Le RS estimé correspondant au LEVEL BOOK peut être obtenu du FCOM/performance chart (exemple) [7].

II.7. 4. Comparaison entre les méthodes

	Avantages	Inconvénients	Commentaires
Méthode du rayon spécifique	-Possibilité de détection d'éventuelles dégradations et l'élaboration d'actions correctives	Sensible, stabilité critique	N'est pas adapté au calcul de coefficient de dégradation au court/ moyen courrier
Méthode de carburant utilisé	-Collecte d'information facile avec possibilité de filtrage (élimination des données non utilisables)	L'impossibilité de pré filtrage des données	Adapté pour les conditions opérationnelles de préparation du vol
Méthode de carburant embarqué	-Elimination des données non utilisables (traitement des données)	Surcharge de travail de l'équipage pour le rassemblement des données	Adapté pour le calcul de coefficient de dégradation dans les vols court courrier

Tableau (II.2) : Comparaison entre les méthodes d'analyse [7].

Introduction

Le taux de consommation de carburant, usure des freins ou des trains d'atterrissage, temps de stationnement sur les taxiways, etc, AGS mesure et analyse de larges volumes de données. Les gains de cette solution plébiscitée par près de 160 opérateurs sont importants, notamment en termes d'économie de carburant (réduction des coûts d'exploitation) et la garantie de la sécurité des vols qui sont des enjeux cruciaux pour les avionneurs et les compagnies aériennes. Grâce à AGS, les incidents techniques sont également anticipés, les situations à risques sont détectées, et est utilisé par plus de 80 clients dans le monde entier pour FOQA (Assurance de la qualité des opérations aériennes), MOQA (assurance de la qualité des opérations de maintenance) ou dans de nombreux cas, les deux programmes.

III.1. Programme d'analyse des données de vol

La FDA, parfois appelée assurance de la qualité des opérations aériennes (FOQA), offre un outil systématique permettant de détecter les dangers de manière proactive. La FDA est un complément au compte rendu de dangers et d'incidents et à l'audit de sécurité en services de ligne (LOSA).

L'Annexe 6, Partie 1, définit le terme « analyse des données de vol » comme un processus consistant à analyser les données de vol enregistrées afin d'améliorer la sécurité des vols.

Un FDAP est un programme non punitif de collecte et d'analyse systématiques des données de vol visant à mettre au point des renseignements objectifs et prédictifs pour faire progresser la sécurité, par exemple par des améliorations des performances de l'équipage de conduite, de l'efficacité de la formation, des procédures opérationnelles, de l'entretien et des services techniques et des procédures de contrôle de la circulation aérienne (ATC).

La FDA comprend les éléments suivants :

- a) Saisir et analyser les données de vol pour établir s'il y a un écart par rapport à l'enveloppe opérationnelle sûre ;
- b) Déceler les tendances ;
- c) Faciliter les suites à donner pour corriger les problèmes possibles.

Périodiquement, les données de vol sont transférées depuis les aéronefs et analysées par le système d'analyse au sol situé à un emplacement central.

Les écarts excédant certaines valeurs préétablies, appelés « dépassements », sont mis en évidence et évalués. L'équipe FDA proposera et évaluera des mesures correctives, et fera

un regroupement des dépassements avec le temps afin de voir s'il y a des tendances et de les suivre. La FDA permet également de mettre en évidence rapidement la détérioration du fonctionnement des systèmes d'aéronef et de prendre des mesures pour en faire l'entretien [9].

III.2. Objectifs d'un programme d'analyse des données de vol

- Les FDAP sont de plus en plus souvent utilisés pour faire le suivi et l'analyse des opérations aériennes et des performances techniques. Il s'agit d'un type obligatoire de système de collecte et de traitement de données sur la sécurité (SDCPS) faisant partie du SGS des exploitants d'avions dont la masse maximale au décollage certifiée excède 27 000 kg, et un élément utile pour ceux qui exploitent des avions dont la masse est inférieure à ce seuil. Des FDAP efficaces encouragent le respect des procédures d'exploitation normalisées et permettent de constater des comportements hors norme, ce qui améliore les performances en matière de sécurité. Ils peuvent détecter des tendances défavorables dans toutes les parties du régime de vol et faciliter ainsi les enquêtes sur des événements, y compris ceux qui n'ont pas eu de graves conséquences.

- L'analyse des données de vol peut servir à repérer des procédures non normalisées ou déficientes, des faiblesses du système de contrôle de la circulation aérienne (ATC) et des anomalies dans la performance des aéronefs. Elle permet de suivre les divers aspects d'un profil de vol, tels que le respect des procédures d'exploitation normalisées (SOP) prescrites pour le décollage, la montée, la croisière, la descente, l'approche et l'atterrissage. Des aspects donnés des vols peuvent être étudiés, soit rétrospectivement, pour repérer les points problématiques, ou de façon proactive avant l'instauration d'un changement opérationnel, pour ensuite confirmer l'efficacité de ce changement.

- Au cours de l'analyse d'un incident, les données de vol sur lequel l'incident s'est produit peuvent être comparées avec les données du profil de la flotte, ce qui facilite l'analyse des aspects systémiques d'un incident. Il se peut que les paramètres d'un vol avec incident ne varient que légèrement par rapport à de nombreux autres vols, ce qui indique peut-être une nécessité de modifier la technique opérationnelle ou la formation. Il serait par exemple possible de déterminer si un incident ayant entraîné un contact queue-sol à l'atterrissage est un incident isolé ou s'il est symptomatique d'un problème plus vaste de fausse manœuvre, telle qu'un arrondi trop haut au toucher des roues ou une mauvaise gestion de la poussée.

- Les données FDAP peuvent fournir aux programmes de surveillance des moteurs une analyse de tendance fiable, étant donné que les données relatives aux moteurs, qui sont codées

manuellement, sont peu précises, peu actuelles et peu fiables. Il est aussi possible de surveiller d'autres aspects de la cellule et des systèmes.

En résumé, les FDAP offrent un large spectre d'applications pour la gestion de la sécurité. De plus, ils présentent l'avantage d'améliorer l'efficacité et la rentabilité opérationnelles qui compense les investissements nécessaires. L'objectif est de :

- a) Déterminer les normes d'exploitation ;
- b) Déceler les dangers réels et potentiels dans les procédures d'exploitation, les flottes, les aéroports, les procédures ATC, etc. ;
- c) Repérer les tendances ;
- d) Surveiller l'efficacité des mesures correctives prises ;
- e) Fournir des données qui serviront à mener des analyses coûts-avantages ;
- f) Optimiser les procédures de formation ;
- g) Fournir aux fins de la gestion des risques des mesures de la performance réelles plutôt que supposées.

Il est important que les FDAP soient non punitifs et comportent des garanties adéquates pour protéger les sources de données [9].

III.3. Équipement FDA

Les FDAP font généralement appel à des systèmes qui saisissent les données de vol, les transforment en un format approprié pour l'analyse, la production de rapports et la représentation visuelle, qui sont autant d'aides pour évaluer les données. Le niveau de perfectionnement des équipements est très variable. En général, toutefois, l'équipement doit répondre aux exigences suivantes pour que soit garantie l'efficacité des FDAP :

- a) Un système embarqué de saisie et d'enregistrement des données sur une vaste gamme de paramètres de vol. Ces paramètres devraient inclure, sans s'y limiter, les paramètres de vol enregistrés par l'enregistreur de données de vol (FDR) ou le système d'enregistrement de données d'aéronef (ADRS). Les performances des paramètres de vol (portée, taux d'échantillonnage, précision, résolution d'enregistrement) devraient être aussi bonnes ou meilleures que les performances prescrites pour les paramètres du FDR ;
- b) Un moyen pour transférer les données enregistrées à bord de l'aéronef à une station de traitement au sol. Par le passé, ce transfert entraînait souvent le déplacement physique de l'unité de stockage du QAR. Pour réduire l'effort physique requis, des méthodes de transfert plus modernes font appel aux techniques sans fil ;

c) Un système informatique au sol (utilisant un logiciel spécialisé) pour analyser les données (de vols spécifiques et/ou les données consolidées de plusieurs vols), détecter les écarts par rapport aux performances attendues, produire des rapports afin de faciliter l'interprétation des données de sortie, etc. ;

Les données de vol sont téléchargées du système d'enregistrement de l'aéronef vers un système informatique au sol comportant un logiciel d'analyse, où elles sont conservées dans un environnement sécurisé afin de protéger ces renseignements sensibles. Ces systèmes informatiques sont disponibles sur le marché, mais la plate-forme informatique nécessitera des interfaces frontales appropriées pour traiter la diversité des données d'entrée enregistrées disponibles aujourd'hui.

Les FDAP génèrent de grandes quantités de données qui nécessitent des logiciels d'analyse spécialisés. Ces logiciels facilitent l'analyse systématique des données de vol afin de déceler des situations exigeant des mesures correctrices.

Le logiciel d'analyse vérifie les données de vol téléchargées pour y rechercher les anomalies. La détection des dépassements comprend généralement un grand nombre d'expressions logiques de déclenchement tirées d'une grande variété de sources, telles que les courbes de performances, les SOP, les données relatives à la performance fournies par le constructeur des moteurs, ainsi que la disposition de l'aérodrome et les critères d'approche. Les expressions logiques de déclenchement peuvent être de simples dépassements, tels que des valeurs critiques, mais il s'agit le plus souvent d'expressions composées qui définissent un certain régime de vol, une certaine configuration d'aéronef ou une certaine situation concernant la charge marchande. Les logiciels d'analyse peuvent aussi appliquer des ensembles de règles différents en fonction de l'aérodrome ou de la géographie. Par exemple, des aéroports à mesures spéciales antibruit peuvent utiliser des pentes de descente plus élevées que la normale sur les trajectoires d'approche survolant des zones habitées. L'ensemble des expressions logiques de déclenchement est normalement défini par l'utilisateur.

Les dépassements et les mesures systématiques peuvent être affichés sur un écran d'ordinateur au sol sous divers formats. Les données de vol enregistrées sont habituellement affichées sous la forme de traces à codage en couleurs avec références techniques connexes, de simulations de poste de pilotage ou d'animations de la vue extérieure de l'aéronef.

d) un logiciel facultatif offrant une capacité d'animation des vols afin d'intégrer toutes les données et de les présenter sous la forme d'une simulation en conditions de vol, ce qui facilite la visualisation des événements réels à des fins d'analyse et de débriefing de l'équipage [9].

III.4. Les outils de l'AGS

AGS inclut tous les outils nécessaires pour effectuer des enquêtes précises :

- 3 types d'analyses :
 - Automatique
 - Statique
 - Manuelle
- Génération de rapports prédéfinis ou personnalisés :
 - Edition, publication et export automatique sous différents formats (HTML, XLS, PDF)
 - Sous forme de tableaux, courbes, graphiques et représentations visuelles
- Module 3D intégré
- Interface avec le safety management système SGS
- Utilisation de technologies primées issues de la NASA
- Accompagnement et support :
 - Stages de formation
 - Services de programmation
 - AGS community : nouvelle plateforme d'échange entre tous les utilisateurs ACMS [8].

III.5. Le contrôle des données de vol (FOQA et MOQA)

Le contrôle des données de vol est le nom générique utilisé pour englober l'utilisation des données générées pendant le vol aux fins de l'assurance de la qualité des opérations aériennes FOQA, et assurance de la qualité des opérations de maintenance MOQA [10]. Ceux-ci sont décomposés et décrits individuellement ci-dessous:

III.5.1.FOQA

Le terme FOQA a été inventé par la fondation de la sécurité des vols (FSF) en 1993, qui l'a défini comme "un programme pour l'obtention et l'analyse des données enregistrées en vol pour améliorer les performances de l'équipage, programme de formation des transporteurs aériens et des procédures d'exploitation, les procédures de contrôle de la circulation aérienne, l'entretien et la conception d'aéroport, et la conception et les opérations des aéronefs".

Un programme de FOQA est donc un programme qui utilise les données générées par l'avion soit contenu dans tout dispositif de stockage embarqué ou obtenu par la transmission en ligne des avions à la base, afin de générer une compréhension de la qualité et de la normalisation des opérations de la compagnie aérienne. La plupart des programmes FOQA dépendent de logiciels complexes qui «scanne» l'information de vol pour détecter des anomalies dans les opérations comparant les données avec les niveaux de dépassement préprogrammés pour chaque type d'aéronef.

FOQA ne diffère pas beaucoup de tous les programmes existants de sécurité de vol des compagnies aériennes tels que "Rapports de la sécurité aérienne" (ASR) dans son principe, qui consiste à identifier les risques sous-jacents à l'opération et prendre les mesures appropriées pour réduire ces risques.

Où il diffère, est que, plutôt que de dépendre de la perception humaine et la déclaration des situations de risque, le programme dépend de la notion que les aéronefs génèrent des données en cours de vol, qui décrivent le comportement de cet aéronef pendant ce vol. Pour des raisons de réglementation, ces données sont stockées dans des dispositifs résistants accidents connus comme enregistreurs de données de vol (FDR), qui seront utilisés pour les enquêtes si cet aéronef devait subir un accident. Depuis que leur utilisation est rendue obligatoire, le nombre de paramètres du vol qui sont disponibles pour l'enregistrement - et le nombre qui est enregistré - a beaucoup changé. Ces données seront analysées après un vol normal, et comparées à une liste de paramètres établis en fonction des seuils de tolérance fixés par le département des opérations de vol de la compagnie aérienne, ce qui peut montrer des situations où certains paramètres dépassent ces seuils.

Ces situations sont connues comme les dépassements, et si suffisamment de vols sont analysés, générant une base de données de dépassements, ce qui permettra à la compagnie aérienne d'évaluer les risques et de proposer des moyens pour réduire ces derniers. Aujourd'hui, ces données sont disponibles le plus souvent à travers une série de différentes

formes d'enregistreurs résistants aux accidents, certains donnent une copie des enregistrements du FDR, d'autres beaucoup plus flexible avec la possibilité d'enregistrer des paramètres qui ne sont pas présents actuellement sur les enregistrements du FDR, ou à un rythme plus rapide [10].

III.5.2.MOQA

Le concept de MOQA peut être supposé semblable des programmes FOQA, mais avec une petite différence. Les programmes MOQA dépendent essentiellement des résultats conduisant à la meilleure compréhension de l'avion opérationnel à partir d'un point de vue de maintenance [10].

III.6. Données d'entrée

Initialement, les données d'entrée aux programmes de contrôle des données de vol ont été générées exclusivement par l'ancienne génération enregistreurs de données de vol (FDR), qui étaient initialement destinés à un accident ou à des enquêtes sur les incidents graves. Avec le temps, ceux-ci ont augmenté dans la capacité de l'original 6 paramètres enregistrés sur une feuille à la génération moderne stockant 50 heures valeur d'environ 1000 paramètres.

Une autre avance qui a conduit vers l'approche moderne FOQA était l'introduction par les fabricants d'enregistreurs résistants aux accidents à bord des avions. Ceux-ci ont été initialement destinés à des fins de dépannage, puisque la disponibilité de certaines données de vol peut être essentielle à la compréhension des problèmes connus avec certains avions ou certains vols.

L'utilisation des données enregistrées sur des enregistreurs facilement accessibles, connus sous le nom Enregistreurs d'accès rapide (QAR) pour le but d'avoir un programme FOQA, est rapidement devenue évidente. L'efficacité de tout programme mis en œuvre dans une compagnie aérienne exploitant des avions avec QAR installé serait nettement importante. Finalement, la capacité d'enregistrement a été ajoutée directement à la gestion de données ou aux unités d'acquisition de données, permettant un accès direct aux données à enregistrer, et donc un enregistrement qui était configurable par l'utilisateur, et facilement modifiable puisque ceci n'a plus été lié au signal étant envoyé au FDR, cette capacité est devenue connue comme enregistreur d'accès direct (DAR).

L'AGS est capable d'accepter des données provenant de toutes les sources FDR, QAR et DAR disponibles [10].

III.7. Processus analytique

Le processus d'entrée de données est relativement automatique, avec sa configuration variable d'une compagnie aérienne à l'autre en raison des différences dans les systèmes d'enregistrement à bord. En général, cela consiste en une tour de lecteurs capables de lire le type de médias enregistrés par l'avion, dans lequel les médias de l'avion sont placés. Si la compagnie aérienne choisit de garder la trace des numéros de série de médias pour le suivi de la qualité des médias, ceux-ci peuvent être saisis manuellement, sinon la plupart des enregistreurs sur le marché permettent l'enregistrement d'un nombre de queue ou un enregistrement d'avion que l'AGS peut détecter [10]. La fenêtre de saisie des données peut être vue dans la figure (III.1).

Id	Type	Model	Label	No	Status	Date & Time
1 00123	F-A444	Maintenance	Penny & Ailes 0 QAH PM: 052000-EWS	By file Aligned	FILE	113y file Aligned
2 0	JA-LCCC	Crash	Fairchild F1000 (Stable) PIN:xxxx-xxxx-00	By file Aligned	FILE	(10:306)
	B-HHHA	Maintenance	Thaler Dassault EQAR	Direct	OPTICAL	
4 00105	PLABG	Maintenance	Teledyne QAR (PCMCIA)	Direct	PCMCIA	10:305
5 90305	N12344	Maintenance	Shrin CAR DAR	By file Aligned	FILE	10:305

111

Media Identification		Flight	
Media Id	Next Media	Id	Installation Date Airport | Ed Flight
111	...	I Crash	j 132678 Fairchild F1000 IStaticPsN.S.xx000-00
AIC Tal		FILE	1E: (10:306)
1A-000C	-1 0/00/0000 zi		

21

Figure (III.1) : Fenêtre de saisie de données montrant la queue de l'échantillon et les médias [10].

Pendant le processus de saisie de données, le fichier de données brutes est physiquement dépouillé de ses caractéristiques d'identification pour être choisi par le client (généralement le numéro de vol et le jour), et cette information est stockée dans un fichier séparé, relié par un mot de passe connu seulement à la personne élue s'il est nécessaire de retrouver cette information pour complément d'enquête ou de compréhension d'une anomalie détectée. Le fichier avec l'identification est généralement supprimé après une période de temps définie par le client [10].

III.7.1. Mots clés et codage

III.7.1.1. Informations des médias

Dans le cadre de l'AGS le média est défini comme étant la source des données pour l'AGS. Si une carte PCMCIA ou un disque optique est inséré avec un certain nombre de vols, il est toujours possible de rechercher uniquement pour les vols qui sont venus de ce média particulier. Autres types de médias de cours peuvent avoir un accès direct aux FDR eux-mêmes, Mini ou Micro enregistreurs QAR et bandes magnétiques de QAR [10].

III.7.1.2. Information De Vol

L'AGS a la capacité d'éditer le fichier brut pour détecter les différentes phases du vol, son origine et sa destination, la durée du vol et d'autres éléments d'identification du vol. Cela permet à l'utilisateur d'effectuer une recherche dans toutes les informations saisies par toute caractéristique de l'avion, et aussi l'aéroport de destination [10].

III.7.1.3. Renseignements sur l'événement

Un des principaux objectifs de tout logiciel de contrôle des données de vol est la capacité de comparer les données existantes à un ensemble prédéfini de limitations pour un paramètre particulier ou une combinaison de paramètres. Le dépassement de cette valeur par une quantité de temps prédéterminée est connu comme un événement. La possibilité de trier les informations par des événements permet à l'utilisateur un accès rapide à l'information, et donc une plus grande facilité de visualiser l'événement lui-même afin de juger sa validité dans le contexte des données [10].

III.4.1.4. Paramètres instantanés

La capacité d'enregistrer la valeur de certains paramètres à des moments précis dans chaque vol permet à la compagnie d'avoir une meilleure compréhension de ses opérations. Ces valeurs sont connues dans l'AGS en tant que paramètres instantanés, et ce qui doit être enregistré et à quel moment est défini par l'utilisateur AGS. Des exemples de cette tendance c'est la mémorisation des paramètres spécifiques à 1000 ft au-dessus du niveau du sol à l'approche ou au toucher des roues [10].

III.7.2. Quelle est la procédure générique pour le programme ?

Jour après jour le processus du contrôle des données de vol devrait être considéré comme un processus itératif. Le schéma ci-dessous illustre le processus complet de surveillance des données de vol. Les étapes dans la première section du diagramme illustrent le processus de saisie de données, bien sûr la fréquence dépendra du nombre de vols que la compagnie aérienne opère. La deuxième section du diagramme décrit la procédure quotidienne des analystes de données qui examinent chaque événement soit en forme tabulaire ou graphique. Ce processus peut conduire à une compréhension que les déclencheurs pour la détection de cet événement ne sont pas bien définis, ce qui peut conduire à une petite boucle itérative, c'est la section 3.

Enfin, la quatrième section démontre la présentation des données à la compagnie aérienne, cela peut être fait à travers deux branches, la première pour un événement individuel qui illustre une anomalie d'opérations, à partir de laquelle tout le groupe du pilote peut apprendre, ou le département de formation peut l'exploiter pour modifier les procédures de formation, et la deuxième branche utilise un construit dans les logiciels d'exploration de données pour générer des rapports statistiques qui peuvent être utilisés pour décrire les opérations des compagnies aériennes [10].

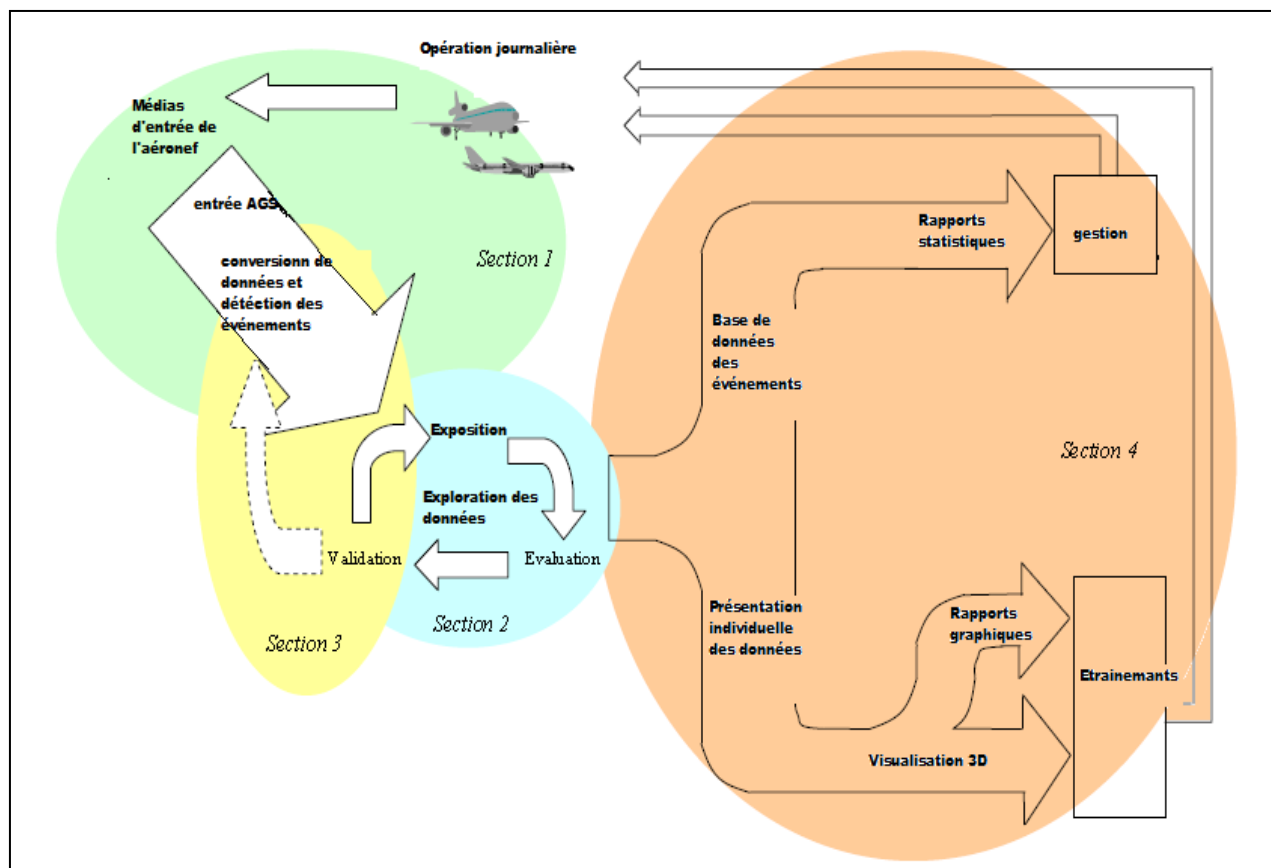


Figure (III.2) : Le processus de surveillance de données de vol [10].

III.7.3. Définition de l'événement - les niveaux de déclenchement

Un des éléments les plus essentiels d'un programme de contrôle des données de vol, que ce soit pour les FOQA ou MOQA, est la possibilité de définir vos propres événements, ou niveaux de déclenchement du dépassement. L'AGS va au-delà d'avoir simplement un ensemble prédéfini d'événements pour lesquels il recherche où l'utilisateur peut modifier les seuils de déclenchement. L'utilisateur peut interagir directement par l'utilisateur du langage de programmation conviviale du logiciel pour définir toutes les données clés que l'opérateur peut souhaiter pour détecter un dépassement. Ceci est un facteur clé, surtout dans les marchés où il ya des opérations très spécifiques (approche et départs) qu'un utilisateur particulier peut souhaiter surveiller, et ne serait pas nécessairement un intérêt pour les autres utilisateurs. Des définitions complexes telles que les approches instables qui peuvent varier considérablement d'un opérateur à un autre sont également mieux détectées lorsque l'utilisateur a accès à leurs définitions [10].

III.7.4. Définition de paramètres supplémentaires

En de nombreuses occasions, l'aéronef ne sera pas programmé pour enregistrer tous les paramètres nécessaires pour une analyse adéquate des données. Ceux-ci peuvent cependant être obtenus à partir des données à portée de main. Cela a été fait traditionnellement pour les paramètres tels que la vitesse verticale, mais dans de nombreuses occasions peut atteindre à des corrections de paramètres mal enregistrés, la valeur correcte de ce qui peut être vérifié par calcul basé sur d'autres paramètres, la quantité de carburant basée sur le changement de poids brut peut être fait lorsque la quantité est peu fiable. Encore une fois cette interface est ouverte à l'utilisateur, de sorte que les corrections et les calculs au-delà de celles programmés avant la livraison peuvent être saisis par les opérateurs [10].

III.8. Outils de sortie

Les sorties de l'outil pour les AGS sont essentiellement de trois types différents, qui sont décrites ci-dessous :

III.8.1. Rapports statistiques

L'AGS génère à travers son fonctionnement standard une base de données de dépassements détectés et une base de données de valeurs de paramètres à des points spécifiques dans le temps, définies ici comme des instantanés et souvent visées sur le marché comme des mesures opérationnelles courantes. Les rapports statistiques peuvent être faits, que ce soit par période, type d'aéronef, ou même une comparaison entre deux périodes, les flottes et ainsi de suite [10]. Ces deux types de rapports ont tendance à avoir des applications différentes et sont décrites ci-dessous individuellement :

III.8.1.1. Rapports d'événement statistique / Rapports de Dépassement

De loin le résultat le plus connu et attendu de tout bon programme de surveillance des données de vol en particulier ceux visant à FOQA. Alors que l'AGS vise à évaluer toutes les fois que les paramètres ont dépassé une limite prédéfinie, c'est la partie statistique du logiciel qui permet à l'utilisateur d'avoir une image de combien de fois ça s'est passé, en faisant comprendre le niveau de risque auquel l'entreprise est exposée. Ces rapports ont tendance à travailler sur «top ten» base et être divisé en une base mensuelle, trimestrielle ou annuelle du temps, et ont tendance à être plus pertinente en permettant la comparaison entre les deux

Chapitre III : Présentation de la station d'analyse FDM

périodes de temps, et pour certaines compagnies aériennes deux flottes. Un autre niveau d'évaluation conduit à briser graphiquement la survenance d'un événement particulier par une caractéristique différente [10]. Un exemple de ceci est dans la figure ci-dessous.

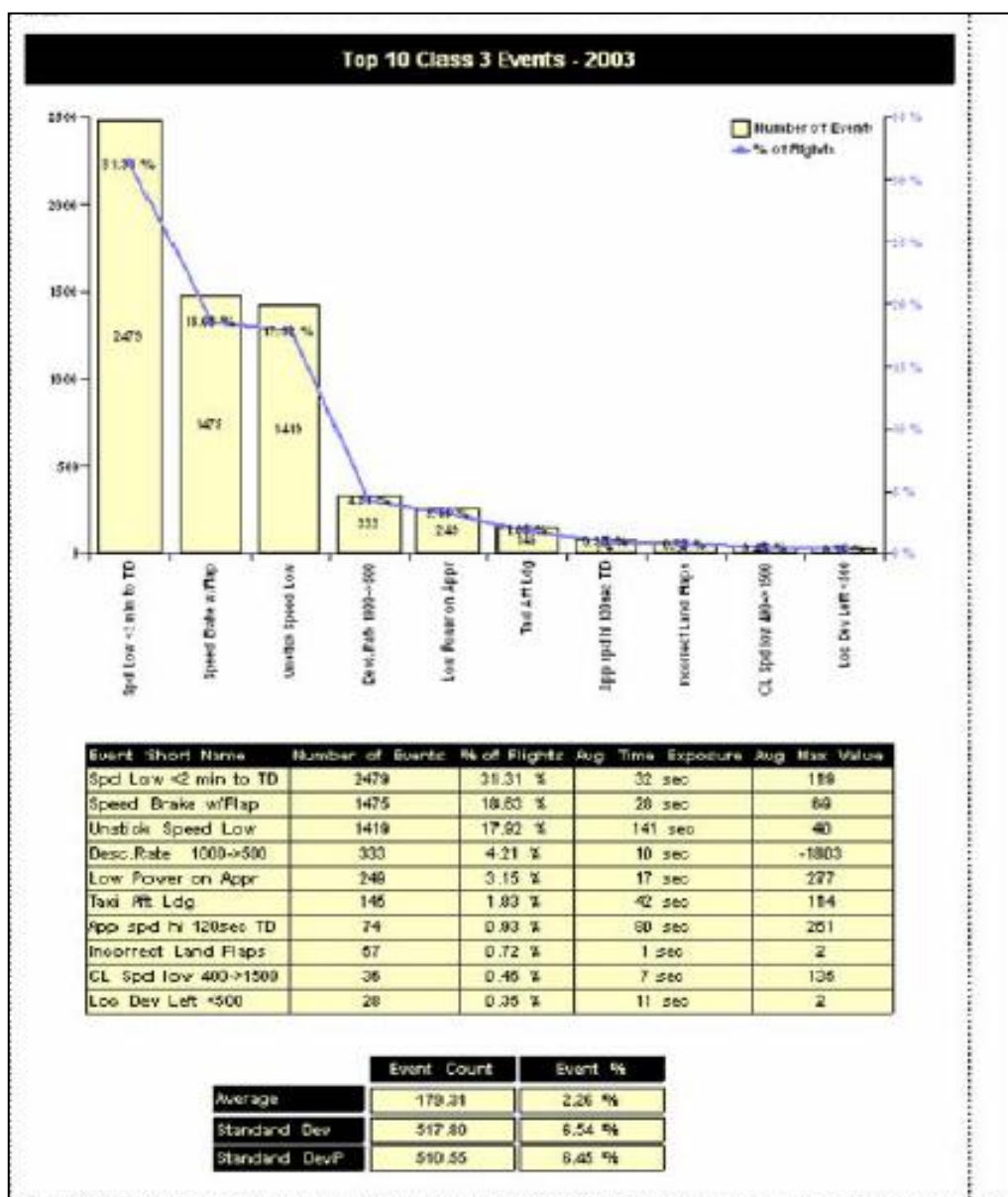


Figure (III.3) : Exemple des résultats donnés sous forme de rapports statistique [10].

La détection des dépassements, tels que des écarts par rapport aux limites spécifiées dans le manuel de vol ou aux SOP, est une manière d'extraire des renseignements à partir des données de vol. Un ensemble d'événements ou de paramètres clés fixe les principaux centres d'intérêt des exploitants.

Exemples : Vitesse de rotation élevée au décollage, avertissement de décrochage, avertissement du dispositif avertisseur de proximité du sol (GPWS), dépassement de la vitesse

maximale volets sortis, approche rapide, position trop basse/élevée par rapport à la pente de descente, atterrissage brutal.

Les données sur les dépassements fournissent des renseignements factuels qui peuvent compléter les informations données dans les comptes rendus des équipages et les rapports techniques.

Exemples : Atterrissage avec volets réduits, atterrissage brutal, descente d'urgence, panne de moteur, décollage interrompu, remise des gaz, avertissement du système anticollision embarqué (ACAS) ou du GPWS, défaillances des systèmes.

Les exploitants peuvent aussi modifier l'ensemble standard d'événements clés pour tenir compte de situations exceptionnelles auxquelles ils sont confrontés régulièrement, ou des SOP qu'ils utilisent [9].

III.8.1.2. Rapports instantanés - Les rapports de mesures opérationnelles courantes

Ces rapports se fondent sur l'information qui a été entrée dans la base de données sur chaque vol qui a rencontré une certaine condition, comme un touché, ou dépassement du seuil.

Plusieurs fois, ces rapports sont utilisés pour des études spécifiques d'un aspect particulier de la certification. Les quelques exemples ci-dessous montrent les points d'atterrissage sur une piste, et le Localizer / déviation de la pente de descente [10].

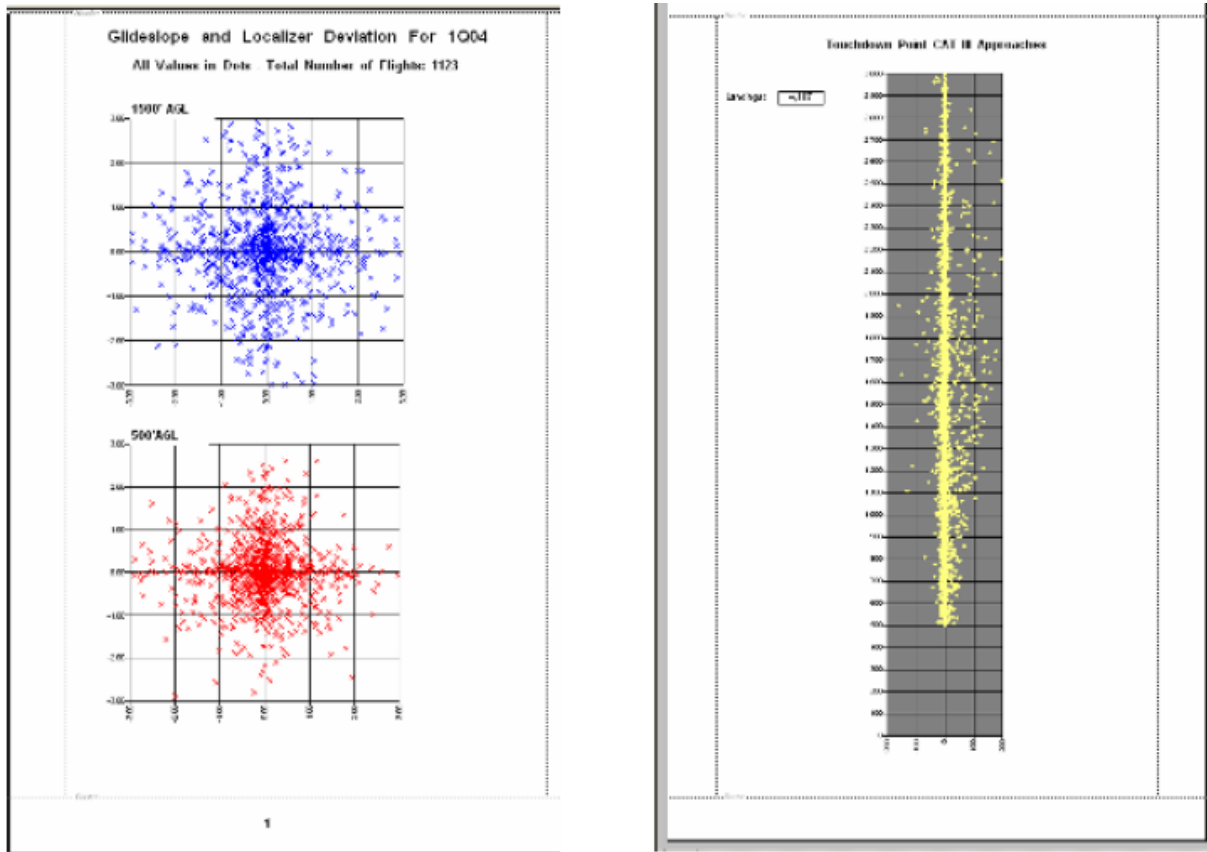


Figure (III.4) : Exemple déviation de la pente de descente (Localizer) et les points d'atterrissage sur une piste [10].

III.8.2. Analyse des événements Individuels

Bien que les rapports statistiques ci-dessus décrivent les opérations des compagnies aériennes, de nombreuses fois, il est nécessaire de comprendre un événement particulier, et dans de nombreux cas générer des rapports ou des visualisations de cet événement pour permettre aux équipages de comprendre ce qui est arrivé et d'éviter ces situations à l'avenir. L'AGS permet de le faire graphiquement ou sous forme de tableau comme montrent les captures d'écran dans la figure ci-dessous [10].

Chapitre III : Présentation de la station d'analyse FDM

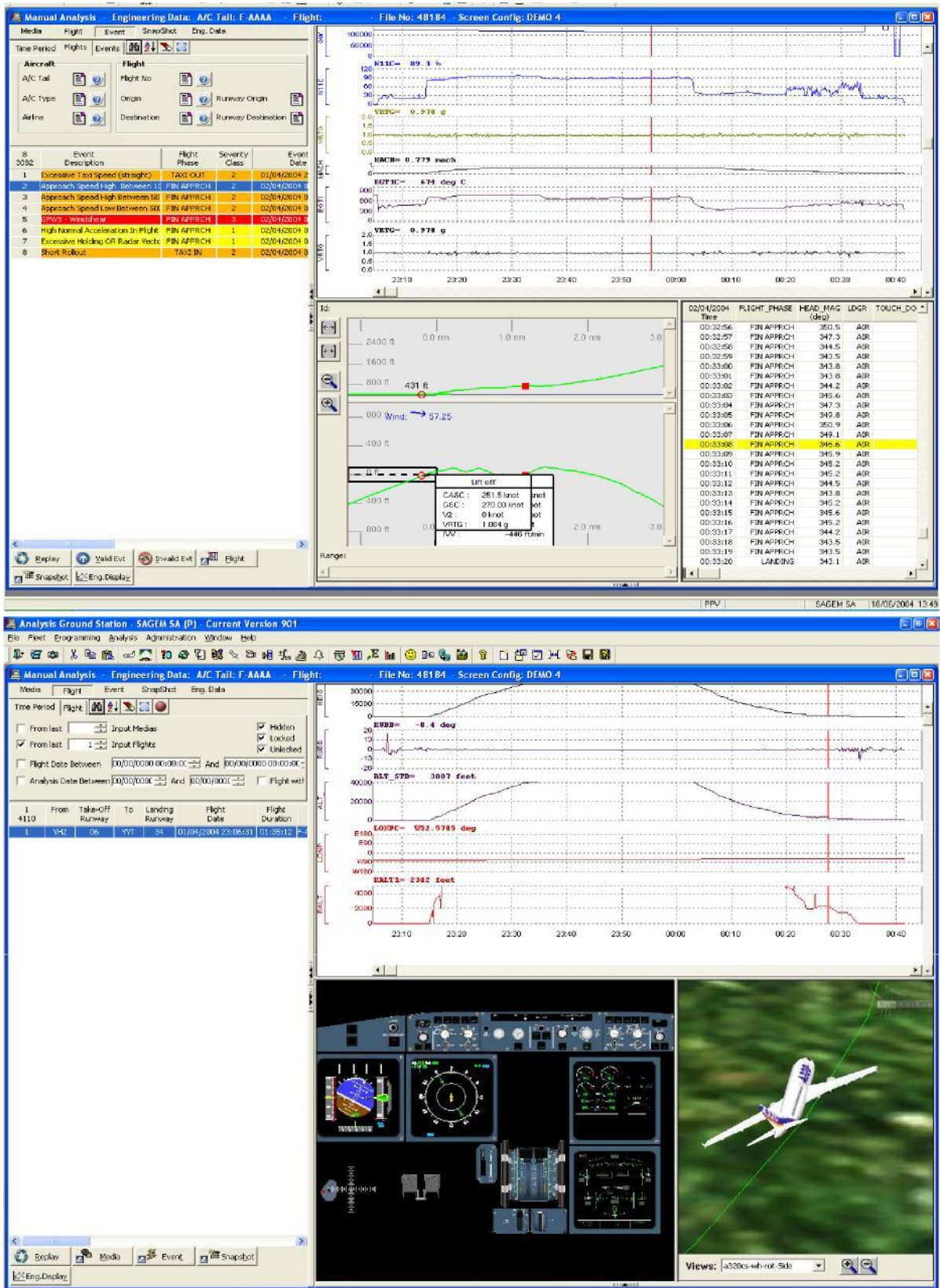


Figure (III.5) : Visualisation de l'événement sous forme de graphe ou de tableau [10].

III.9. Application des résultats de l'analyse

En résumé, l'AGS est un outil de contrôle des données de vol de multiples fonctionnalités, permettant la sécurité des vols, utilisé aussi pour Entretien / Ingénierie / Dépannage que l'industrie a appelé FOQA et MOQA respectivement. La philosophie du logiciel est de permettre une flexibilité totale de l'utilisateur dans la configuration de l'outil, et un maximum de compatibilité avec les sources de données, y compris la configuration de données spécifique de la compagnie provenant des enregistreurs d'accès facile résistants aux accidents (QAR / DAR). L'AGS est conçu pour labourer à travers les données, effectuer la dépersonnalisation des données physiques si nécessaire par l'utilisateur, comparer ces données à une série de limites préétablies de temps et la valeur de génération des informations sur les conditions de vol non-standard.

Le logiciel a également la possibilité de générer des valeurs dans sa base de données de paramètres à des moments clés de la fuite, permettant une "image" statistiques des opérations de la compagnie aérienne à ce moment particulier en vol, ce qui permet des études de nombreux aspects de vol, l'un des plus typique étant l'analyse de la trajectoire de descente et la déviation d'alignement de piste à différentes hauteurs AGL [10].

Ce logiciel est utilisé aussi pour :

➤ **Enquêtes sur les incidents**

Les FDAP fournissent de précieux renseignements pour les enquêtes sur les incidents et pour le suivi de comptes rendus techniques. Des données enregistrées quantifiables ont été des compléments utiles à ajouter aux impressions et informations dont se souvenaient les équipages de conduite. Les données FDAP fournissent aussi une indication précise de l'état et de la performance des systèmes, ce qui peut constituer une aide pour déterminer des relations de cause à effet [9].

Exemples d'incidents où des données de vol enregistrées pourraient être utiles : Une charge de travail élevée dans le poste de pilotage, corroborée par les indicateurs suivants :

- a) une descente tardive ;
- b) une interception tardive du radiophare d'alignement et/ou de la pente de descente ;
- c) un important changement de cap sous une hauteur spécifique ;
- d) une configuration d'atterrissage tardive ;
- e) des approches non stabilisées et précipitées, écarts par rapport à la trajectoire de descente, etc. ;

f) des dépassements par rapport aux limites opérationnelles prescrites (telles que les vitesses maximales volets sortis, les surchauffes de moteurs) ;

g) des rencontres de turbulences de sillage, un cisaillement du vent dans les basses couches, des rencontres de turbulences ou d'autres accélérations verticales [9].

➤ **Maintien de la navigabilité**

Les mesures systématiques et les dépassements peuvent servir à soutenir la fonction de maintien de la navigabilité. Par exemple, les programmes de surveillance des moteurs tiennent compte des mesures de la performance des moteurs pour établir l'efficacité opérationnelle, prédire les pannes imminentes et aider à l'établissement des programmes d'entretien [9].

Exemples d'utilisations pour le maintien de la navigabilité : mesures du niveau de poussée du moteur et de la traînée de la cellule ; avionique et autres modes de surveillance de la performance des systèmes ; surveillance des systèmes « selon vérification de l'état » et de la détérioration des moteurs ; utilisation des freins et du train d'atterrissage [9].

Introduction

Le suivi des performances se fait par la comparaison du niveau de performance de croisière enregistré pendant le vol avec la ligne de base enregistrée dans la base de données moteur/fuselage. Cette comparaison se fait en calculant des coefficients de dégradations de performances de croisière de l'avion.

Le constructeur Boeing a conçu un logiciel qui s'appelle BPS (Boeing) et qui est fourni aux opérateurs afin de calculer ces coefficients pour leurs appareils. Mais certains constructeurs n'ont pas des logiciels de ce genre, par conséquent, les opérateurs utilisent les données de la station d'analyse FDM pour permettre le suivi des performances de leurs avions.

Dans ce chapitre, on va calculer ces coefficients de dégradation pour le B737-800 en utilisant deux méthodes (par le BPS et en exploitant les données de l'AGS), et pour le Q400, on va utiliser uniquement la station d'analyse au sol (AGS).

IV.1. Calcul du FF théorique (à partir du Jetplan)

Un plan de vol technique ou un Jetplan comporte beaucoup de données, dans notre projet, on s'intéresse à la consommation du carburant et le temps de vol pour chaque phase de vol.

Pour trouver la consommation horaire FF, on applique la formule suivante :

$$d = FF * t \quad \Longleftrightarrow \quad FF = d / t$$

Tel que :

d : Le délestage

FF : La consommation horaire

t : Le temps de vol.

IV.1.1. Exemple de calcul

On prend le vol LFML-DAAG (Marseille – Alger) fait par le B737-800 (immatriculé 7T-VCA) le 14/05/2015.

Chapitre IV : Etude de cas (Analyse de la dégradation des performances des B737-800 et Q400)

La figure ci-dessous est la partie du Jetplan à partir de laquelle on a calculé le FF en utilisant la formule précédente.

Temps de vol par segment														Le carburant consommé de la zone tracée
WPT	AWY	FL	OAT	WIND	MCS	COMP	TAS	ZDST	ZT	ETA	ZFU	EFR	VAR	
FREQ	MORA	TP	DEV	S	MH	TCS	G/S	DSTR	CT	ATA	CFU	AFR		
LAT/LONG														
TOC		310	...	...	216	...	...	0066	0/14	...	013	0048	...	
N42330E004198	071	..	...	..	221	217	...	0377	0/14	...	013	...	...
MAMES	..	310	-45	26755	216	M37	465	0025	0/03	...	002	0047	...	
N42126E004000	071	37	P01	1	221	217	428	0352	0/17	...	014	...	...
BISBA	UM984	310	-45	26953	245	M49	465	0018	0/03	...	001	0046	...	
N42052E003375	059	38	P01	1	248	246	416	0334	0/20	...	016	...	...
BGR	UN975	310	-45	26854	245	M51	465	0020	0/03	...	001	0045	...	
N41569E003125	112.2	059	38	P01	1	247	246	414	0314	0/23	...	017	...	
FEVIK	UN855	310	-45	26853	181	M07	465	0016	0/02	...	001	0044	...	
N41408E003118	025	37	P01	4	188	182	458	0298	0/25	...	018	...	...
SALON	UN855	310	-45	26364	182	M14	465	0011	0/01	...	001	0043	...	
N41297E003112	025	37	P01	1	189	182	451	0287	0/26	...	018	...	...
SADEM	UN855	310	-45	26954	181	M06	465	0017	0/02	...	001	0042	...	
N41126E003104	025	37	P01	3	188	182	459	0270	0/28	...	019	...	...

FF = d / t
FF = 1300 / (14/60)
FF = 5571.43 kg/h

Figure (IV.1) : Une partie d'un Jetplan.

Après avoir calculé le FF pour chaque phase, on calcule la moyenne pour trouver le FF pour le vol complet.

$$FF = \frac{5571.43 + 4000 + 2000 + 2000 + \dots + 631.57}{14}$$

$$FF = 3157.38 \text{ kg/h}$$

IV.2. Calcul du FF réel (Exploitation des données de l'AGS)

Comme on a expliqué dans le chapitre III, l'AGS est un système qui analyse automatiquement toutes les données de vol disponibles sur des enregistreurs des données de vol (QAR et FDR), l'annexe 2 est un exemple de ces données.

Chapitre IV : Etude de cas (Analyse de la dégradation des performances des B737-800 et Q400)

L'AGS fournit beaucoup de paramètres (FF de chaque moteur, le temps de vol, la phase de vol, la quantité de carburant consommée et la quantité restante, l'immatriculation...) dans chaque seconde et parfois chaque milli seconde.

La méthode consiste à calculer la moyenne du FF pour chaque phase de vol afin d'obtenir des résultats plus précis.

IV.2.1. Exemple de calcul

On va prendre le vol précédent, la fiche ci-dessous résume les résultats qu'on trouvé.

Informations générales			
Type d'avion	B737-800		
Immatriculation	CA		
Date	14/05/2015		
Temps de vol	1h 24mn 12sec		
Délestage	3025 Kg		
Départ	LFML	Arrivée	DAAG
Piste	31R	Piste	9
Carburant à bord	7443 kg	Quantité de carburant	4418 kg
Analyse par phase de vol			
Taxi out		Taxi in	
Time out	8mn 28sec	Time in	3mn 48sec
FF Engine 1	426,7	FF Engine 1	338,87
FF Engine 2	403,97	FF Engine 2	340,27
Décollage			
Time	28sec		
FF Engine 1	3639,88		
FF Engine 2	3527,31		
EGT 1	751,94		
EGT 2	736,28		
Observation	Le moteur 1 consomme plus que le moteur 2		
2 Segment			
Time	1mn 52sec		
FF 1	3553,62		
FF 2	3428,77		
EGT 1	804,38		
EGT 2	784,35		

Montée	
Time	17mn 52sec
FF Engine 1	2226,63
FF Engine 2	2161,95
EGT 1	752,33
EGT 2	734,28
Croisière	
Time	34mn 8sec
FF Engine 1	1213,12
FF Engine 2	1184,49
EGT 1	623,61
EGT 2	607,9
Descente	
Time	18mn 50sec
FF Engine 1	468,43
FF Engine 2	460,6
EGT 1	463,47
EGT 2	450,76
Approche	
Time	2mn
FF Engine 1	534,18
FF Engine 2	529,99
EGT 1	508,84
EGT 2	497,98
Observation	Pas de grande différence entre les 2 moteurs mais toujours le moteur 1 consomme plus et donc il surchauffe plus
Finale	
Time	1mn 40sec
FF Engine 1	1180,49
FF Engine 2	1147,68
EGT 1	554,42
EGT 2	541,01
Observation	Pas de grande différence entre les 2 moteurs

Atterrissage	
Time	1mn 16sec
FF Engine 1	795,73
FF Engine 2	771,17
EGT 1	582,32
EGT 2	567,72
Observation	Pas de grande différence entre les 2 moteurs

Tableau (IV.1) : La consommation horaire pour chaque moteur par phase de vol.

A partir de ce tableau, on calcule la moyenne pour trouver le FF pour le vol complet.

On obtient :

$$FF\ 1 = 1437.77\ \text{kg/h}$$

$$FF\ 2 = 1395.62\ \text{kg/h}$$

Ensuite, on calcule la somme de la consommation des deux moteurs :

$$FF = FF\ 1 + FF\ 2$$

Donc :

$$FF_{\text{réel}} = 2833.39\ \text{kg/h}$$

IV.3. Calcul du coefficient de dégradation des performances

Ce coefficient est calculé en appliquant la formule suivante :

$$\% \Delta FF = \left[\frac{FF_{\text{réel}} - FF_{\text{th}}}{FF_{\text{th}}} \right] * 100$$

AN:

$$\% \Delta FF = \left[\frac{2833.39 - 3157.36}{3157.36} \right] * 100$$

$$\% \Delta FF = -10.26\%$$

Chapitre IV : Etude de cas (Analyse de la dégradation des performances des B737-800 et Q400)

On fait la même chose pour plusieurs vols, on a choisi pour chaque immatriculation quelques destinations, et pour chaque destination, on a pris 3 vols, cela pour prendre en considération les conditions météorologiques et les contraintes ATC, et aussi pour avoir une idée complète et des résultats plus fiables.

Après avoir calculé le coefficient de dégradation des performances pour plusieurs vols, on calcule la moyenne pour trouver ce coefficient pour chaque avion (chaque immatriculation).

Les tableaux suivants résument les résultats obtenus :

➤ **Pour le B737-800 :**

Immatriculation	7T-VCA	7T-VCB	7T-VCC	7T-VCD
Coefficient de dégradation des perfos (%)	-10.26	-3.97	1.25	0.38

Tableau (IV.2) : Les coefficients de dégradation des performances des avions B737-800.

➤ **Pour le Q400 :**

Immatriculation	7T-VCL	7T-VCM	7T-VCN	7T-VCO
Coefficient de dégradation des perfos (%)	0.289	-8.53	-15.81	-5.75

Tableau (IV.3) : Les coefficients de dégradation des performances des avions Q400.

IV.4. L'interprétation des résultats

Dans le cas où le coefficient de dégradation des performances est positif, on dit qu'il y a une dégradation, et dans le cas contraire on dit qu'il n'y a pas de dégradation.

En analysant les résultats obtenus par notre méthode de suivi des performances, nous avons constaté ce qui suit :

Pour les avions de types **B737-800** :

Les deux avions immatriculés 7T-VCA et 7T-VCB n'ont pas dégradé contrairement aux avions immatriculés 7T-VCC et 7T-VCD qui ont subi des dégradations des

performances de l'ordre de 1 à 2 % qui est tolérable par rapport aux prévisions du constructeur.

Une note d'information a été envoyée au constructeur afin d'enquêter sur les raisons de cette dégradation lors des visites de types check C programmées en Septembre pour le 7T-VCC et Novembre pour 7T-VCD.

Sachant que 7T-VCB a subi un changement moteur suite à un FOD en Janvier 2015.

Pour les avions de type **Q400** :

Les avions immatriculés 7T-VCM, 7T-VCN, 7T-VCO n'ont pas dégradé contrairement au 7T-VCL qui a dégradé de 0.289%.

La dégradation des performances est due au type d'exploitation des avions dans un environnement désertique (érosion de sable).

Les avions immatriculés 7T-VCM, 7T-VCN, 7T-VCO ont subi des remplacements moteurs (dépôts moteurs suite au pompage).

L'avion 7T-VCL est programmé pour une visite de type Check C, et une analyse de Boroscopie est programmée afin de déterminer la nécessité de changement de moteur même si cette dégradation est tolérable (0.3%).

Remarque :

Dans le cas où il y a une dégradation des performances, il faut voir si le problème est opérationnel vue la mauvaise exploitation par les PNT notamment dans le choix des régimes de vol, ou technique, s'il est dû au moteur ou à la cellule, et une action de maintenance sera lancée en cas de besoin.

IV.5. Le suivi des performances du B737-800 en utilisant l'APM

IV.5.1. Description de l'APM

Le programme APM est un logiciel conçu par le constructeur BOEING, il est fourni aux opérateurs afin de calculer les coefficients de dégradations de performances de leurs appareils.

L'APM permet de comparer le niveau de performance de croisière enregistré pendant le vol avec la ligne de base qui est enregistrée dans la base de données moteur/fuselage. En réalité, la comparaison se fait en calculant des coefficients de dégradations de performances de croisière de l'avion. Le calcul s'effectue sans l'utilisation des méthodes mathématiques, mais juste en utilisant les équations familières de la portance, de la traînée et de la poussée du moteur, pour des conditions de stabilité de croisière.

L'APM permet à l'utilisateur de calculer quatre types de déviations de performance, à savoir :

- La configuration moteur (power setting) en %N1 ou en EPR (taux de pression).
- La poussée requise (thrust required).
- Débit du carburant (fuel flow).
- La consommation distance du carburant (fuel mileage).

Le programme APM est fourni aux opérateurs pour la surveillance des performances de leurs avions. Les résultats du programme servent principalement à dépister les tendances à long terme des performances du fuselage/moteur et à corriger les tables de marche du jet plan.

En analysant les données de performances de croisière, le programme APM indiquera les avions pour lesquels la performance a dévié de la ligne de base applicable, cette information peut aider un opérateur en identifiant le besoin d'action possible d'entretien de fuselage ou du moteur [7].

IV.5.2. Les données d'entrée

Le programme APM reçoit 3 types d'entées :

- A- Le fichier base de données (MOTEUR/FUSELAGE).
- B- Le fichier d'entrée (MSIRF/DSIRF).
- C- Le fichier d'entrée option utilisateur APMINP [7].

A- La base de données MOTEUR/FUSELAGE

Pour chaque ensemble moteur/fuselage est associée une base de données ou sont enregistrées les caractéristiques aérodynamiques du fuselage ainsi que les caractéristiques mécaniques des moteurs présentées par des diagrammes (courbe prenant l'exemple de la polaire), sous forme numérique, indiquant l'évolution ou la régression d'un paramètre par

rapport à un autre. La valeur désirée est obtenue par un certain arrangement d'interpolation lors du calcul.

L'opérateur indiquera donc au programme APM le nom de la base de données à consulter selon le modèle de l'avion et le type de moteur. A titre d'exemple la base de données utilisée pour faire des calculs sur un 737-200 équipé de JT8-D15 n'est pas la même que pour un 737-200 équipé de JT8-D17.

Chaque base de données est constituée de plusieurs configurations, les configurations sont destinées chacune à faire face à un certain type de calcul. Dans notre cas, le cahier de charge utilisé par le programme pour le calcul des coefficients de dégradation de performances est nommé CONFIG50, il est également indiqué au programme APM par l'opérateur [7].

B- Les fichiers d'entrée de données (MSIRF/DSIRF)

Les fichiers d'entrée de données contiennent les paramètres de vol de croisière utilisés par le programme APM afin de calculer les coefficients de dégradation de performance [7].

C- Les fichiers d'entrée option utilisateur APMINP

Comme son nom l'indique, l'utilisateur crée ce fichier afin de définir au programme APM le nom de la base de données à consulter ainsi que le nom du cahier de charge de configuration, le nom du fichier d'entrée des paramètres de vol et sa nature (manuel MSIRF ou automatique DSIRF), les nom des fichiers de sortie où sont présentés les résultats, et les options d'exécution où l'opérateur précise au programme APM les corrections à effectuer lors du calcul des coefficients tel que la correction du CG, aéroélasticité, isobarique, énergie...etc., les tolérances à appliquer sur les coefficients et enfin les unités désirées à la sortie des résultats [7].

IV.5.3. Processus de calcul dans le programme APM

La figure ci-dessous (figure IV.2) illustre le processus de calcul dans le programme APM.

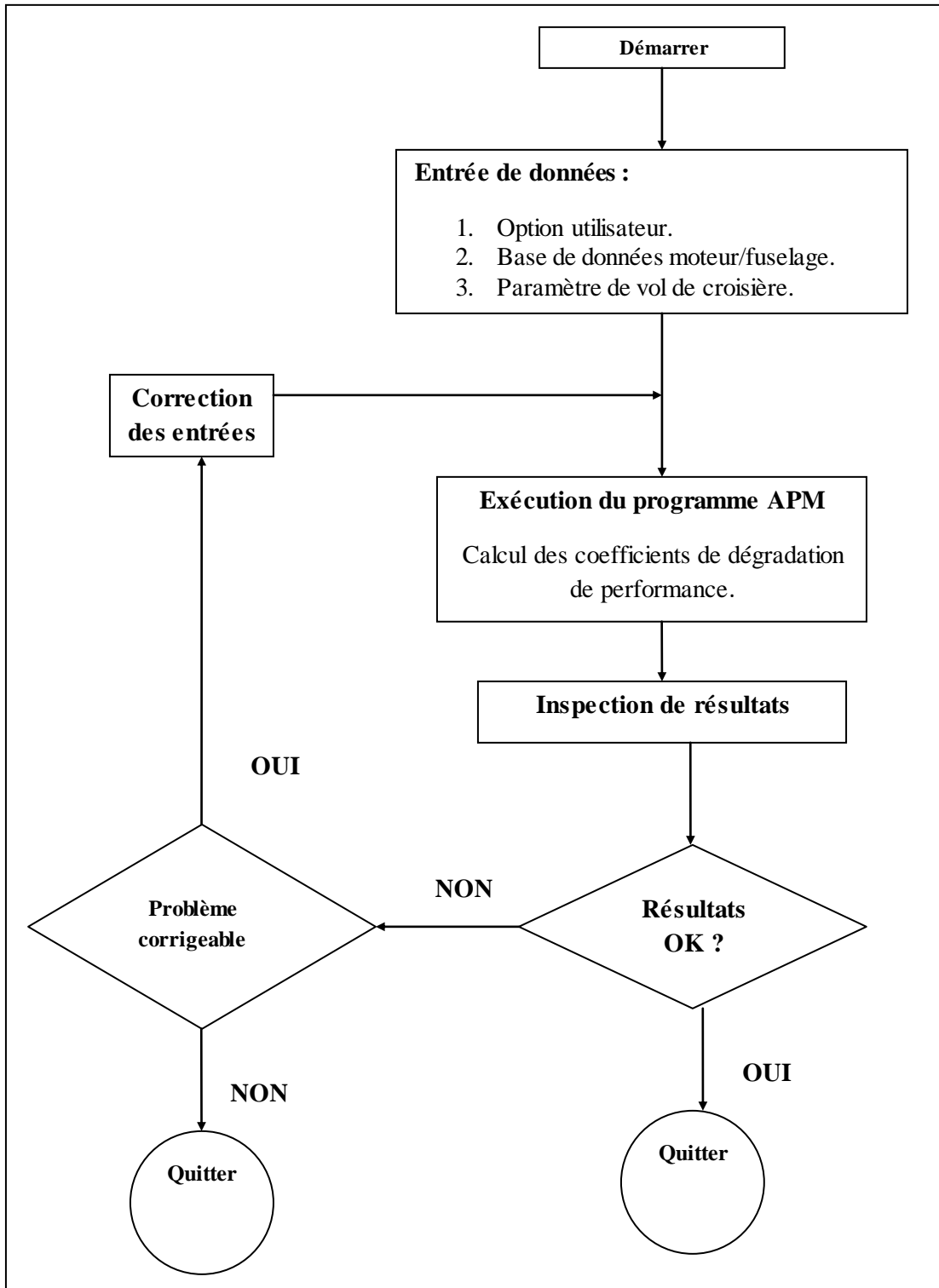


Figure (IV.2) : Processus de calcul dans le programme APM [7].

Chapitre IV : Etude de cas (Analyse de la dégradation des performances des B737-800 et Q400)

Le processus de calcul dans le programme APM se déroule d'une manière simple. Avant l'exécution du programme, l'opérateur introduit tout d'abord le fichier option utilisateur (APMINP) où est définis la base de données moteur/fuselage, le fichier d'entrée des paramètres de vol de croisière (MSIRF/DSIRF) ainsi que les options d'exécution.

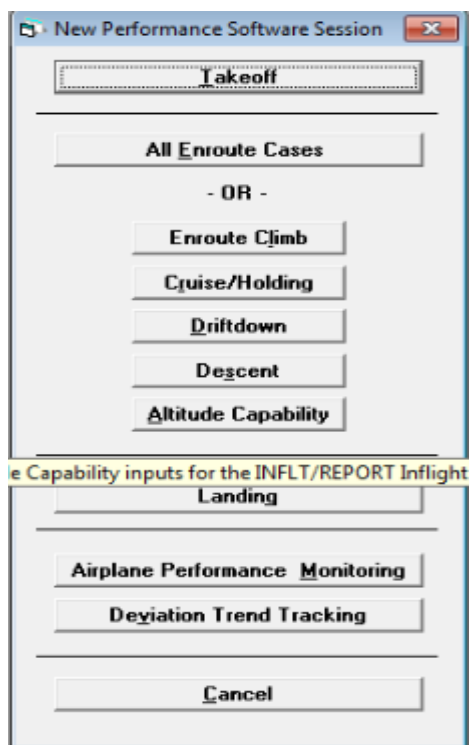
A partir d'un seul fichier d'entrée APMINP, le programme APM peut effectuer plusieurs opérations de calcul. L'application du bloc /CASE suivi du mot clé APM indiquera le début d'un nouveau calcul des coefficients de dégradation de performance avec des données différentes.

Une fois les coefficients calculés, une vérification des résultats s'impose. Si une anomalie se présente et dont le problème est corrigeable, une correction au niveau des données d'entrées est effectuée pour les réintroduire dans le programme APM, sinon un message d'erreur apparaît indiquant le type d'anomalies détectées.

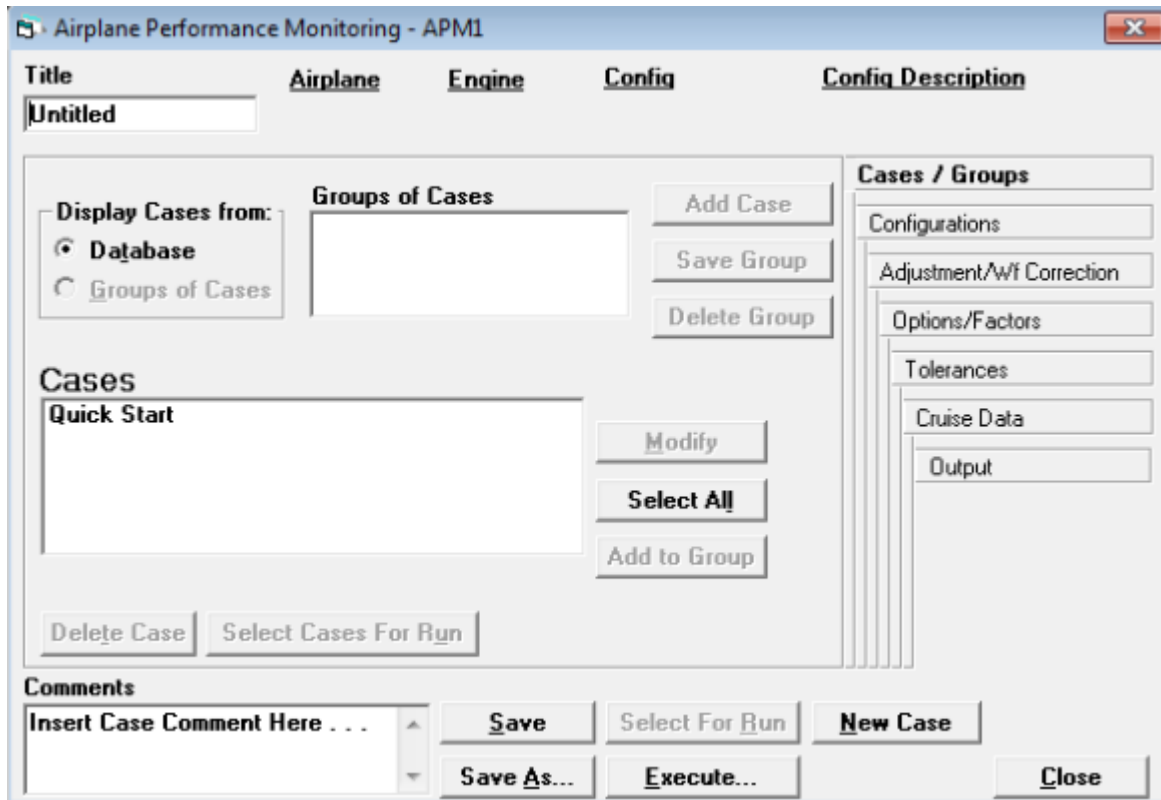
Dans le cas où aucune anomalie ne se présente, mes résultats apparaissent sous forme de fichiers [7].

Le fonctionnement du BPS est comme suite :

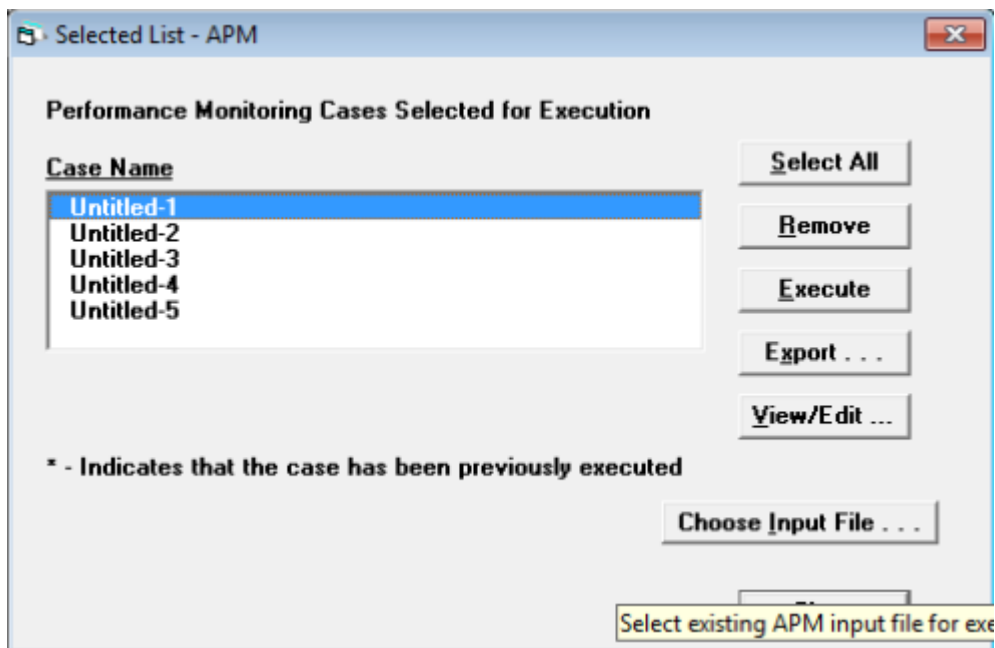
On lance le BPS, la fenêtre suivante s'affiche :



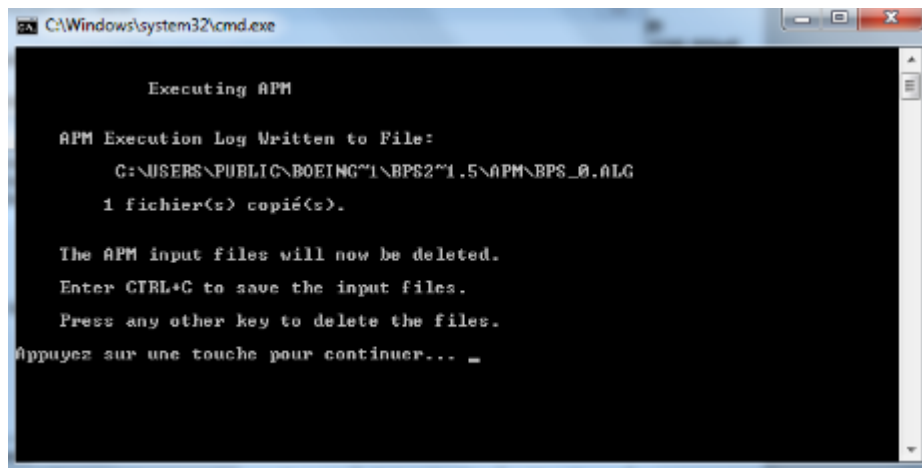
En cliquant sur l'onglet Airplane Performance Monitoring, la fenêtre suivante s'ouvre :



Dans cette fenêtre, on choisit l'avion et on télécharge les données de croisière en utilisant les champs Configurations et Cruise Data, puis on exécute et la fenêtre suivante apparaît :



On choisit le cas puis on clique sur exécute pour avoir la fenêtre suivante :



```
C:\Windows\system32\cmd.exe

Executing APM

APM Execution Log Written to File:
G:\USERS\PUBLIC\BOEING\1\BPS2\1.5\APM\BPS_0.ALG
1 fichier(s) copié(s).

The APM input files will now be deleted.
Enter CTRL+C to save the input files.
Press any other key to delete the files.
Appuyez sur une touche pour continuer... _
```

Après la fin de l'exécution, on revient à la fenêtre précédente et on clique sur l'onglet View/Edit pour parcourir un fichier appelé APMOUT.txt qui contient les résultats.

IV.5.4. L'archivage de l'APM

L'APM est capable d'archiver les performances des avions dans une bibliothèque des données (Library) pour le suivi des performances de long terme, les inputs et les outputs sont archivés de la même façon et sous le même format ce qui permet d'identifier une éventuelle dégradation et de déterminer les actions correctives donc une meilleure exploitation de la flotte [7].

IV.5.5. Les résultats obtenus par le BPS

Le BPS calcule le coefficient de dégradation des performances pour les quatre paramètres suivants :

Paramètres Années	%N1 REQ'D	%THRST REQ'D	%FUEL FLOW	%FM
2013	-1.22	-5.2	-12.7	+5.3
2014	-1.06	-4.9	-11.2	+4.2
2015 (Janvier- Septembre)	-0.9	-3.8	-10.4	+3.9
Moyenne	-1.06	-4.63	-11.43	+4.47

Tableau (IV.4): Résultats de l'APM pour le 7 T-VCA.

Paramètres Années	%N1 REQ'D	%THRST REQ'D	%FUEL FLOW	%FM
2013	-1.01	-4.4	-6.3	+5.3
2014	-0.86	-3.2	-5.4	+4.2
2015 (Janvier- Septembre)	-0.56	-2.1	-4.2	+3.9
Moyenne	-0.81	-3.23	-5.3	+4.47

Tableau (IV.5): Résultats de l'APM pour le 7 T-VCB.

Paramètres Années	%N1 REQ'D	%THRST REQ'D	%FUEL FLOW	%FM
2013	-0.5	-4.2	-2.3	+1.5
2014	+0.1	+3.5	+2.3	+1.0
2015 (Janvier- Septembre)	+0.56	+1.9	+1.11	-1.13
Moyenne	+0.053	+0.4	+0.37	+0.46

Tableau (IV.6): Résultats de l'APM pour le 7 T-VCC.

Paramètres Années	%N1 REQ'D	%THRST REQ'D	%FUEL FLOW	%FM
2013	-0.32	-3.7	-2.1	+1.2
2014	+0.52	+2.4	+1.7	+0.85
2015 (Janvier- Septembre)	+1.1	+2.1	+0.18	-0.5
Moyenne	+0.43	+0.27	-0.07	+0.52

Tableau (IV.7): Résultats de l'APM pour le 7 T-VCD.

Paramètres Années	%N1 REQ'D	%THRST REQ'D	%FUEL FLOW	%FM
2013	-0.76	-4.38	-5.85	+3.33
2014	-0.33	-0.55	-3.15	+2.56
2015 (Janvier- Septembre)	+0.05	-0.48	-3.33	+1.54
Moyenne	-0.35	-1.8	-4.11	+2.48

Tableau (IV.8): Résultats de l'APM pour la flotte B737-800.

Pour les paramètres : N1 REQ'D, THRST REQ'D et FUEL FLOW, si on trouve la valeur positive on dit qu'il y a une dégradation sinon pas de dégradation. Contrairement au FM, si on trouve la valeur positive, on dit qu'il n'y a pas de dégradation.

Il est important de noter que la différence entre les résultats obtenus par le BPS et les résultats obtenus par le calcul manuel revient à plusieurs raisons comme :

- Dans la méthode qu'on a utilisé, on a pris un nombre limité de vols, par contre le BPS (Module APM) donne des résultats à partir de la base de données de la compagnie, donc il prend en considération tous les vols.
- Le BPS (Module APM), prends les données à partir de l'ACMS qui vérifient les conditions de stabilité des données et élimine toutes les données incohérentes et incorrectes.
- Les résultats du BPS (Module APM) sont plus précis parce qu'il est automatique, par contre notre méthode consiste à faire les calculs sur plusieurs étapes et à chaque fois il faut arrondir les résultats ce qui diminue la précision.

Conclusion

Le suivi de la dégradation des performances d'un avion est une chose indispensable qui doit avoir la même importance que le contrôle régulier effectué sur la flotte de toute compagnie aérienne.

Pour cela, tout constructeur doit concevoir des logiciels et des programmes qui calculent les coefficients de dégradation des performances de leurs appareils afin d'assurer les deux aspects basiques de toute compagnie, l'aspect sécurité, et l'aspect économie.

Cet objectif est atteint par la procédure suivie quand une dégradation des performances est produite, cette procédure consiste à régler les problèmes techniques par la maintenance des avions ce qui assure la sécurité, et régler les problèmes opérationnels ce qui assure l'économie en évitant surtout l'augmentation de la consommation du carburant, et l'un de ces aspects complète l'autre.

En cas d'absence de ce logiciel, la compagnie doit trouver une autre méthode pour faire le suivi des performances comme l'adoption d'un système d'analyse de données, où l'exploitation de ces données peut nous donner les mêmes résultats qu'un logiciel conçu pour ce but.

Enfin, on peut dire que la méthode qu'on a utilisée dans notre projet peut nous donner des résultats plus précis, en créant par exemple une application comme une base de données ou un programme informatique pour faciliter et automatiser la tâche, ou en allant plus loin par la conception d'un logiciel de suivi des performances pour les avions qui ne l'ont pas.

Bibliographie :

Bibliographie

[1] Site internet wikipedia.org/wiki/

[2] Site internet tassilairlines.aero

[3] Manuel d'exploitation partie A Généralités/Fondements, édition 01/02/2009, révision 08/05/2014.

[4] 737-800 Flight Crew Operations Manual (FCOM) Tassili Airlines SPA, révision 27/03/2014.

[5] Bombardier Q400 Aeroplane Operating Manuel (AOM)

[6] Cruise Performance Analysis (Boeing) PE-201 Operational Performance and Technical Methods Feb-Mar 2013.

[7] Mémoire « suivi des performances des avions 'APM' B737NG et A330-202 », ALILI Hichem, 2007.

[8]<http://www.sagem.com/fr/aeronautique-et-espace/avions-civils/systemes-dinformation/>

[9] Manuel sur les programmes d'analyse des données de vol (FDAP), première édition 2014.

[10] Example Application of Analysis Ground Station (AGS), Septembre 2004.

Annexe 1 : Plan de vol technique (Jetplan).

PLAN 9407 SF3021 LFML TO DAAG 73W2 M79/F IFR 14/05/15
NONSTOP COMPUTED 1008Z FOR ETD 1445Z PROGS 1406UK 7T-VCA KGS

		E.FUEL	A.FUEL	E.TME	NM	NAM	FL
DEST	DAAG	003157	. . . . .	01/11	0443	0460	310
R.R.		000158	. . . . .	00/04			
ALT	DAOO	001764	. . . . .	00/42	0228	0245	280
HOLD		001051	. . . . .	00/30			
XTR		000000	. . . . .	00/00	SIGN	CDB	.....
TOF		006130	. . . . .	02/27	TRK	MRS-ALG	
TAXI		000150	CORR.	+ / -			
BLOCK		006280	. . . . .	02/27	BLOCK	FUEL	.....

FL 310

FUEL BURN ADJUSTMENT FOR 4000 FT DECREASE IN CRZ ALTITUDE: KGS
FUEL BURN ADJUSTMENT FOR 4000 FT INCREASE IN CRZ ALTITUDE: KGS
FUEL BURN ADJUSTMENT FOR 1000KGS INCREASE/DECREASE IN TOW:0021KGS

ALT AIRPORT CIE NAME COST INDEX
BLOCK NUMERO B/L.
CMD (-) QUANTITY
MAX B/O

	E. WT	CORR.	OP. LIMIT	STRUC.	REASONS FOR OP. LIMIT
BASIC	043084	. . . . .		
EPLD	014020	. . . . .		
EZFW	057104	. . . . .	ZFW	062731 /	. . . . .
TOF	006129	. . . . .		
ETOW	063234	. . . . .	OTOW.	079015 /	. . . . .
EB/O	003157	. . . . .		
ELAW	060077	. . . . .	LAW	065317 /	. . . . .

LFML..MAMES UM984 BISBA UN975 BGR UN855 BUYAH..DAAG

BLOCK OFF LANDING FOB. TO
BLOCK ON TAKE OFF FOB. LAW
CODE
TIME TIME DELAI

WIND M012 MXSH 4/FEVIK

ETP LFML/DAAG 00/37 0245NM P029/M018 BURN 0023 N40006E003060

MET /

CLEARANCE /

DISPATCH BRIEFING INFO

Annexe 1 : Plan de vol technique (Jetplan).

LFML ELEV 0070FT

ETA 1556Z

WPT	AWY	FL	OAT	WIND	MCS	COMP	TAS	ZDST	ZT	ETA	ZFU	EFR	VAR
FREQ	MORA	TP	DEV	S	MH	TCS	G/S	DSTR	CT	ATA	CFU	AFR	
LAT/LONG													
TOC		310	...	.....	216	...	...	0066	0/14	...	013	0048	...
	071	..	...	.	221	217	...	0377	0/14	...	013	....	...
N42330E004198													
MAMES	..	310	-45	26755	216	M37	465	0025	0/03	...	002	0047	...
	071	37	P01	1	221	217	428	0352	0/17	...	014	....	...
N42126E004000													
BISBA	UM984	310	-45	26953	245	M49	465	0018	0/03	...	001	0046	...
	059	38	P01	1	248	246	416	0334	0/20	...	016	....	...
N42052E003375													
BGR	UN975	310	-45	26854	245	M51	465	0020	0/03	...	001	0045	...
112.2	059	38	P01	1	247	246	414	0314	0/23	...	017	....	...
N41569E003125													
FEVIK	UN855	310	-45	26853	181	M07	465	0016	0/02	...	001	0044	...
	025	37	P01	4	188	182	458	0298	0/25	...	018	....	...
N41408E003118													
SALON	UN855	310	-45	26364	182	M14	465	0011	0/01	...	001	0043	...
	025	37	P01	1	189	182	451	0287	0/26	...	018	....	...
N41297E003112													
SADEM	UN855	310	-45	26954	181	M06	465	0017	0/02	...	001	0042	...
	025	37	P01	3	188	182	459	0270	0/28	...	019	....	...
N41126E003104													
DUNES	UN855	310	-45	27248	181	M02	465	0021	0/03	...	001	0041	...
	025	37	P01	0	187	182	463	0249	0/31	...	021	....	...
N40518E003095													
SISMO	UN855	310	-45	27245	182	M02	465	0015	0/02	...	001	0040	...
	017	37	P01	0	187	182	463	0234	0/33	...	021	....	...
N40365E003087													
KENAS	UN855	310	-45	27344	181	M01	465	0007	0/01	...	000	0040	...
	017	37	P01	0	186	182	464	0227	0/34	...	022	....	...
N40300E003084													
ETP1	UN855	310	-45	27441	181	00	465	0029	0/03	...	002	0038	...
116.4	029	37	P01	2	186	182	465	0198	0/37	...	023	....	...
N40006E003060													
POS	UN855	310	-45	27441	181	00	465	0005	0/01	...	000	0038	...
116.4	029	37	P01	2	186	182	465	0193	0/38	...	024	....	...
N39556E003069													
DOSOP	UN855	310	-45	27539	178	P02	465	0032	0/04	...	002	0036	...
	029	37	P01	2	183	179	467	0161	0/42	...	025	....	...
N39235E003075													
TALEN	UN855	310	-45	27540	178	P02	465	0016	0/02	...	001	0035	...
	029	37	P01	2	183	179	467	0145	0/44	...	026	....	...
N39071E003079													

Annexe 1 : Plan de vol technique (Jetplan).

TOD UN855 310 -45 27440 178 P02 465 0045 0/06 ... 003 0032 ...
029 38 P01 3 183 179 467 0100 0/50 ... 029
N38216E003090

GENIO DSC 178 0004 0/01 ... 000 0032 ...
029 183 179 ... 0096 0/51 ... 029
N38176E003089

BUYAH DSC 178 0011 0/01 ... 000 0032 ...
010 181 179 ... 0085 0/52 ... 029
N38068E003091

DAAG DSC 177 0085 0/19 ... 002 0030 ...
083 181 178 ... 0000 1/11 ... 032
N36416E003129

FIRS LECB/1502 DAAA/1537

T/O	ALTERNATE	LFMN	MSA	TTK	DIST	FL	TIME	ETA
			120	080	0088	120	0.20	1505

-N0330F120

			MSA	TTK	DIST	TIME	ETA	FUEL
ALTERNATE	- 1	DAOO	083	251	0228	0.42	1639	001764
ALTERNATE	- 2	DABC	099	098	0186	0.32	1629	001456

-N0392F280 DAHRA A411 ORA DCT

CPT	LAT	LONG	MSA	TTK	DIST
CELBA	N37069	E002531	083	328	0031
CHE	N36361	E002116	076	227	0045
DAHRA	N36219	E001300	076	247	0036
MOS	N35539	E000082	053	248	0072
ORA	N35368	W000393	053	246	0042
DAOO	N35376	W000367	047	068	0002

-N0379F270 BABOR UA31 CSO DCT

CPT	LAT	LONG	MSA	TTK	DIST
SMR	N36416	E003054	083	248	0010
BNA	N36391	E003355	083	087	0027
BABOR	N36291	E005000	099	098	0069
TAJEN	N36230	E005512	099	098	0042
CSO	N36176	E006365	089	098	0037
DABC	N36171	E006372	...	360	0001

Annexe 2 : Les résultats de l'AGS

TIME	DATE	AC_TAIL2	CITY_FROM	FLIGHT_PHASE	RUNWAY_TO	FQTY_TO	DESTINATION	RUNWAY_LD	FQTY_LD	FF1C	FF2C	EGT1C	EGT2C
						t			t	kg/h	kg/h	deg C	deg C
15:42:06	14/05/2015			TAXI OUT	31R	0.000	ALG	9	0.000	0	421	334	455
15:50:34	14/05/2015			TAXI OUT	31R	0.000	ALG	9	0.000	3041	3092	642	642
15:50:38	14/05/2015			TAKE OFF	31R	7.443	ALG	9	0.000	3309	3469	662	665
15:51:06	14/05/2015	VCA		TAKE OFF	31R	7.443	ALG	9	0.000	3672	3556	782	764
15:51:06	14/05/2015	VCA		TAKE OFF	31R	7.443	ALG	9	0.000	3672	3556	783	765
15:52:22	14/05/2015	VCA	LFML	2 SEGMENT	31R	7.443	ALG	9	0.000	3498	3360	808	788
15:52:18	14/05/2015	VCA		2 SEGMENT	31R	7.443	ALG	9	0.000	3491	3367	808	788
15:51:10	14/05/2015	VCA	LFML	2 SEGMENT	31R	7.443	ALG	9	0.000	3687	3563	784	765
15:53:02	14/05/2015	VCA		2 SEGMENT	31R	7.443	ALG	9	0.000	3469	3346	811	790
15:53:02	14/05/2015	VCA		CLIMB	31R	7.443	ALG	9	0.000	3462	3346	810	790
15:56:06	14/05/2015	VCA	LFML	CLIMB	31R	7.443	ALG	9	0.000	3215	3092	820	798
16:04:22	14/05/2015	VCA	LFML	CLIMB	31R	7.443	ALG	9	0.000	1248	1219	667	648
16:04:22	14/05/2015	VCA		CRUISE	31R	7.443	ALG	9	0.000	1248	1219	666	647
16:07:38	14/05/2015	VCA	LFML	CRUISE	31R	7.443	ALG	9	0.000	1285	1248	645	628
16:09:38	14/05/2015	VCA	LFML	CRUISE	31R	7.443	ALG	9	0.000	1706	1706	675	666
16:38:30	14/05/2015	VCA		DESCENT	31R	7.443	ALG	9	0.000	777	755	557	540
16:41:18	14/05/2015	VCA	LFML	DESCENT	31R	7.443	ALG	9	0.000	261	261	421	405
16:57:10	14/05/2015	VCA		DESCENT	31R	7.443	ALG	9	0.000	399	392	499	486
16:57:10	14/05/2015	VCA		APPROACH	31R	7.443	ALG	9	0.000	399	392	499	486
16:57:54	14/05/2015	VCA	LFML	APPROACH	31R	7.443	ALG	9	0.000	414	406	499	487
16:59:10	14/05/2015	VCA		FINAL	31R	7.443	ALG	9	0.000	929	900	522	508
17:00:50	14/05/2015	VCA		FINAL	31R	7.443	ALG	9	0.000	1437	1321	577	558
17:00:50	14/05/2015	VCA		LANDING	31R	7.443	ALG	9	0.000	1415	1314	577	559
17:02:06	14/05/2015	VCA	LFML	LANDING	31R	7.443	ALG	9	4.418	348	348	583	570
17:02:06	14/05/2015	VCA		TAXI IN	31R	7.443	ALG	9	4.418	348	348	583	570
17:05:54	14/05/2015	VCA	LFML	TAXI IN	31R	7.443	ALG	9	4.418	0	0	449	411
17:05:54	14/05/2015	VCA		ENG. STOP	31R	7.443	ALG	9	4.418	0	0	437	403

Annexe 3 : Les résultats de l'APM

BOEING AIRPLANE PERFORMANCE MONITORING PROGRAM

REPORT TITLE IMI

PERFORMANCE ANALYSIS FOR AIRPLANE 7T-VCA

MODEL 737-800WSFP1 ENGINE CFM56-7B ENG SERIAL NUMBERS

SPEED PARAMETER TO BASE ANALYSIS - MACH

INSTRUMENTS USED FOR ANALYSIS - C

DATE	FLT#	FLT	CASTAT	GW	MACH	%N1	FUEL	%N1	%THRST	%FUEL	%FM	QUAL
DD-MM-YY		LVL	C	KG	AVG	FLOW	REQ'D	REQ'D	FLOW			

02-01-13	2879927	370	260	-28	64.0	.800	89.2	1248	-1.07	-4.1	-0.7	+4.7	0
03-01-13	2879930	350	265	-32	67.8	.780	87.3	1265	-1.31	-5.8	-0.9	+6.1	0
06-01-13	2879930	350	264	-32	66.8	.778	86.8	1236	-1.13	-5.0	-0.8	+5.3	0
11-02-13	2879933	370	247	-25	64.9	.765	89.2	1186	-1.02	-4.1	-0.5	+4.4	0
21-02-13	2879937	370	246	-38	63.3	.761	87.5	1168	-2.17	-8.8	-0.8	+8.6	0
03-03-13	2879940	340	267	-23	73.7	.771	89.8	1390	-1.81	-7.4	-1.0	+7.6	0
05-03-13	2879940	360	262	-29	70.9	.789	90.1	1340	-1.81	-6.5	-0.9	+7.1	0
14-04-13	2879943	340	272	-25	72.4	.785	88.8	1368	-1.35	-5.9	-0.6	+6.0	0
16-05-13	2879948	320	288	-23	66.1	.792	86.5	1360	-0.96	-4.4	-10.6	-4.5	0
19-05-13	2795139	360	266	-30	67.4	.802	89.3	1324	-1.47	-5.5	-13.8	+6.1	0
03-06-13	2795139	360	266	-30	67.0	.801	88.5	1280	-0.72	-2.9	-0.5	-3.4	0
08-06-13	2795139	350	271	-26	65.7	.798	88.3	1300	-1.02	-4.5	-12.5	+4.6	0
09-07-13	2795140	340	282	-23	67.8	.809	89.3	1410	-0.99	-4.4	-0.2	-4.3	0
11-07-13	2795140	340	281	-23	67.3	.808	89.2	1403	-1.01	-4.5	-0.5	+4.7	0
12-08-13	2795140	340	281	-23	66.8	.807	88.9	1393	-1.10	-4.9	-0.5	-5.0	0
18-08-13	2795140	340	282	-23	66.6	.810	89.0	1399	-0.89	-4.0	-0.5	+4.2	0
21-08-13	2795140	340	282	-23	66.3	.809	88.7	1381	-0.80	-3.5	-0.5	-3.7	0

Annexe 3 : Les résultats de l'APM

05-09-13	2795140	360	264	-31	64.8	.796	88.1	1260	-1.21	-5.4	-0.5	+5.4	0
10-09-13	2795143	360	258	-29	70.1	.780	89.6	1302	-1.65	-6.1	-0.7	-6.4	0
19-10-13	2795143	360	258	-30	68.8	.780	89.0	1276	-1.47	-5.7	-0.7	+6.0	0
21-10-13	2795147	370	256	-28	62.5	.790	88.4	1192	-0.91	-4.0	-0.3	+4.0	0
18-10-13	2835686	350	272	-34	66.8	.799	87.2	1288	-0.99	-4.5	-0.4	+4.5	0
22-11-13	2835704	320	290	-29	67.6	.799	86.0	1367	-0.92	-4.3	-0.0	-3.8	0
24-12-13	2835704	320	290	-29	66.9	.799	86.1	1377	-1.21	-5.7	-0.1	+5.1	0
26-12-13	2835704	320	291	-29	66.3	.800	86.1	1375	-1.17	-5.6	-0.0	+4.9	0
29-12-13	2835709	360	269	-33	66.7	.810	89.8	1367	-1.69	-5.8	-0.8	+6.4	0

AVERAGE DEVIATION FROM BOOK PERFORMANCE -1.22 -5.2 -12.7 +5.3

STANDARD DEVIATION 0.36 1.2 -0.3 1.3

* - DENOTES NOT USED IN AVERAGE CALCULATION

(ACCEPTABLE TOLERANCE RANGE BOEING AIRPLANE PERFORMANCE MONITORING PROGRAM

REPORT TITLE IMI

PERFORMANCE ANALYSIS FOR AIRPLANE 7T-VCA

MODEL 737-800WSFP1 ENGINE CFM56-7B ENG SERIAL NUMBERS

SPEED PARAMETER TO BASE ANALYSIS - MACH

INSTRUMENTS USED FOR ANALYSIS - C

DATE	FLT#	FLT	CASTAT	GW	MACH	%N1	FUEL	%N1	%THRST	%FUEL	%FM	QUAL
DD-MM-YY		LVL	C	KG	AVG	FLOW	REQ'D	REQ'D	FLOW			

05-01-14	2879927	370	260	-28	64.0	.800	89.2	1248	-1.07	-4.1	-11.7	+4.7	0
09-01-14	2879930	350	265	-32	67.8	.780	87.3	1265	-1.31	-5.8	-11.9	+6.1	0

Annexe 3 : Les résultats de l'APM

11-01-14	2879930	350	264	-32	66.8	.778	86.8	1236	-1.13	-5.0	-11.8	+5.3	0
21-02-14	2879933	370	247	-25	64.9	.765	89.2	1186	-1.02	-4.1	-11.5	+4.4	0
24-02-14	2879937	370	246	-38	63.3	.761	87.5	1168	-2.17	-8.8	-11.8	+8.6	0
06-04-14	2879940	340	267	-23	73.7	.771	89.8	1390	-1.81	-7.4	-10.0	-7.6	0
07-04-14	2879940	360	262	-29	70.9	.789	90.1	1340	-1.81	-6.5	-9.9	+7.1	0
19-05-14	2879943	340	272	-25	72.4	.785	88.8	1368	-1.35	-5.9	-11.6	+6.0	0
21-05-14	2879948	320	288	-23	66.1	.792	86.5	1360	-0.96	-4.4	-12.6	+4.5	0
26-07-14	2795139	360	266	-30	67.4	.802	89.3	1324	-1.47	-5.5	-8.8	+6.1	0
24-07-14	2795139	360	266	-30	67.0	.801	88.5	1280	-0.72	-2.9	-11.5	+3.4	0
29-08-14	2795139	350	271	-26	65.7	.798	88.3	1300	-1.02	-4.5	-12.5	+4.6	0
30-08-14	2795140	340	282	-23	67.8	.809	89.3	1410	-0.99	-4.4	-11.2	+4.3	0
03-09-14	2795140	340	281	-23	67.3	.808	89.2	1403	-1.01	-4.5	-12.5	-4.7	0
05-09-14	2795140	340	281	-23	66.8	.807	88.9	1393	-1.10	-4.9	-11.5	+5.0	0
07-09-14	2795140	340	282	-23	66.6	.810	89.0	1399	-0.89	-4.0	-11.5	+4.2	0
09-09-14	2795140	340	282	-23	66.3	.809	88.7	1381	-0.80	-3.5	-12.5	-3.7	0
11-10-14	2795140	360	264	-31	64.8	.796	88.1	1260	-1.21	-5.4	-12.5	+5.4	0
15-10-14	2795143	360	258	-29	70.1	.780	89.6	1302	-1.65	-6.1	-11.7	-6.4	0
18-10-13	2795143	360	258	-30	68.8	.780	89.0	1276	-1.47	-5.7	-10.7	+6.0	0
19-10-14	2795147	370	256	-28	62.5	.790	88.4	1192	-0.91	-4.0	-11.3	+4.0	0
21-11-14	2835686	350	272	-34	66.8	.799	87.2	1288	-0.99	-4.5	-10.4	+4.5	0
24-11-14	2835704	320	290	-29	67.6	.799	86.0	1367	-0.92	-4.3	-9.0	+3.8	0
28-11-14	2835704	320	290	-29	66.9	.799	86.1	1377	-1.21	-5.7	-8.1	+5.1	0
11-12-14	2835704	320	291	-29	66.3	.800	86.1	1375	-1.17	-5.6	-9.0	+4.9	0
28-12-14	2835709	360	269	-33	66.7	.810	89.8	1367	-1.69	-5.8	-10.8	+6.4	0

AVERAGE DEVIATION FROM BOOK PERFORMANCE -1.06 -4.9 -11.2 +4.2

STANDARD DEVIATION 0.34 1.1 -0.2 +1.2

Annexe 3 : Les résultats de l'APM

* - DENOTES NOT USED IN AVERAGE CALCULATION

(ACCEPTABLE TOLERANCE RANGE EXCEEDED)

BOEING AIRPLANE PERFORMANCE MONITORING PROGRAM

REPORT TITLE IMI

PERFORMANCE ANALYSIS FOR AIRPLANE 7T-VCA

MODEL 737-800WSFP1 ENGINE CFM56-7B ENG SERIAL NUMBERS

SPEED PARAMETER TO BASE ANALYSIS - MACH

INSTRUMENTS USED FOR ANALYSIS - C

DATE	FLT#	FLT	CASTAT	GW	MACH	%N1	FUEL	%N1	%THRST	%FUEL	%FM	QUAL	
DD-MM-YY		LVL	C	KG	AVG	FLOW	REQ'D	REQ'D	FLOW				
11-01-15	2879927	370	260	-28	64.0	.800	89.2	1248	-1.07	-4.1	-10.7	+4.7	0
12-01-15	2879930	350	265	-32	67.8	.780	87.3	1265	-1.31	-5.8	-10.9	+4.1	0
16-01-15	2879930	350	264	-32	66.8	.778	86.8	1236	-1.13	-5.0	-10.8	+5.3	0
19-01-15	2879933	370	247	-25	64.9	.765	89.2	1186	-1.02	-4.1	-10.5	+4.4	0
21-02-15	2879937	370	246	-38	63.3	.761	87.5	1168	-2.17	-2.8	-10.8	+3.6	0
22-02-15	2879940	340	267	-23	73.7	.771	89.8	1390	-1.81	-3.4	-10.0	+4.6	0
23-02-15	2879940	360	262	-29	70.9	.789	90.1	1340	-1.81	-4.5	-10.9	+4.1	0
26-02-15	2879943	340	272	-25	72.4	.785	88.8	1368	-1.35	-2.9	-10.6	+3.0	0
28-02-15	2879948	320	288	-23	66.1	.792	86.5	1360	-0.96	-4.4	-10.6	+4.5	0
02-03-15	2795139	360	266	-30	67.4	.802	89.3	1324	-1.47	-5.5	-10.8	+6.1	0
11-03-15	2795139	360	266	-30	67.0	.801	88.5	1280	-0.72	-2.9	-10.5	+3.4	0
15-04-15	2795139	350	271	-26	65.7	.798	88.3	1300	-1.02	-4.5	-10.5	+4.6	0
16-04-15	2795140	340	282	-23	67.8	.809	89.3	1410	-0.99	-4.4	-10.2	+4.3	0

Annexe 3 : Les résultats de l'APM

19-04-15	2795140	340	281	-23	67.3	.808	89.2	1403	-1.01	-4.5	-10.5	+4.7	0
21-05-15	2795140	340	281	-23	66.8	.807	88.9	1393	-1.10	-4.9	-10.5	+2.0	0
11-06-15	2795140	340	282	-23	66.6	.810	89.0	1399	-0.89	-4.0	-10.5	+4.2	0
15-06-15	2795140	340	282	-23	66.3	.809	88.7	1381	-0.80	-3.5	-10.5	+3.7	0
18-06-15	2795140	360	264	-31	64.8	.796	88.1	1260	-1.21	-5.4	-10.5	+3.4	0
22-06-15	2795143	360	258	-29	70.1	.780	89.6	1302	-1.65	-2.1	-10.7	+2.4	0
26-06-15	2795143	360	258	-30	68.8	.780	89.0	1276	-1.47	-2.7	-10.7	+4.0	0
03-07-15	2795147	370	256	-28	62.5	.790	88.4	1192	-0.91	-3.0	-10.3	+4.0	0
05-07-15	2835686	350	272	-34	66.8	.799	87.2	1288	-0.99	-3.5	-10.4	+4.5	0
15-07-15	2835704	320	290	-29	67.6	.799	86.0	1367	-0.92	-3.3	-10.0	+3.8	0
02-08-15	2835704	320	290	-29	66.9	.799	86.1	1377	-1.21	-5.7	-10.1	+2.1	0
04-08-15	2835704	320	291	-29	66.3	.800	86.1	1375	-1.17	-3.6	-10.0	+4.9	0
06-08-15	2835709	360	269	-33	66.7	.810	89.8	1367	-1.69	-3.8	-10.8	+3.4	0

AVERAGE DEVIATION FROM BOOK PERFORMANCE -0.9 -3.8 -10.4 +3.9

STANDARD DEVIATION 0.39 1.8 0.2 1.7

* - DENOTES NOT USED IN AVERAGE CALCULATION

(ACCEPTABLE TOLERANCE RANGE EXCEEDED)