



REPUBLIQUE ALGERIENNE
DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA-1-
INSTITUT AERONAUTIQUE ET DES ETUDES
SPACIALES DE BLIDA-1-

Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme master en Aéronautique

Option : Exploitations Aériennes

Thème :

*Etude et réalisation D'une application pour le calcul
de consommation de carburant optimale de l'avion
B737-800W*

Réalisé par :

-Mr Mekioui Alaa

-Mr Senadla Chems eddine

Promoteur : M^r Boudani Abd el Kader

Encadreur : M^f Beriache Ilyes

Promotion 2017-2018

Résumé

Ce modeste travail rentre dans le cadre de la préparation des vols qui est une opération nécessaire qui doit être réalisé pour chaque vol, dans le but de déterminer les limitations opérationnelles en fonction des conditions du jour.

Le but de notre projet de fin d'étude (PFE) est d'informatiser les calculs de préparation de vol pour l'Avion Boeing 737-800W de la compagnie Tassili et définir la quantité nécessaire de carburant de chaque vol ainsi la charge offerte afin de répondre aux exigences réglementaire, en se basant sur des connaissances acquises tout au long de notre cursus universitaire.

ملخص

هذا العمل المتواضع يندرج ضمن اطار التحضير للرحلات الجوية التي هي عمليات ضرورية واجب انجازها لكل رحلة جوية، و ذلك بهدف التحديد العمليات وفقا لشروط اليوم

اجراء حسابات التحضير للرحلات الجوية لطائرة بوينغ شركة عند 737-800 (د.ن.م)الهدف من مشروع نهاية دراستنا شركة طاسيلي و تحديد كمية الكير وزان اللازمة لكل رحلة طيران و بذلك المقدار المقدم للاستجابة المتطلبات التنظيمية، بالاعتماد على المعارف المكتسبة خلال مسيرتنا بالجامعة

Abstract

This modest work falls within the framework of organizing flights which it's a necessary operation for every flight, this in order to determine the operational limitations according to the conditions of the day.

The goal of our end of study project (EOSP) is to computerize flight preparation calculations for the plane Boeing 737-800W of Tassili company and to determine the amount of carbon needed for each flight so that the amount provided for response regulatory requirements, relying on the knowledge acquired during the university process .

Remerciement

ALLAH est grand le tout puissant, notre foi et croyance en vous ALLAH nous a procuré courage et volonté pour poursuivre nos études depuis notre lointaine enfance dont les souvenirs commencent déjà a s'estamper de nos mémoires jusqu'à nos jours, nous vous remercions profondément et incessamment d'être toujours la pour nous tout le temps, nous vous remercions de nous avoir destiné a vivre de tels moments, qui étaient par fois même difficiles, mais avec un résultat de joie et de bonheur, qui resteront gravé a jamais dans nos mémoires ;

Nous adressons nos sincères remerciements à nos chère encadreur Mr : Ilyes Beriache et Termelile Nordine un cadre supérieur au niveau de la compagnie TASSILI AIRLINES, pour ses contributions à tout instant à la réalisation de ce travail et pour nous avoir permis d'effectuer notre stage au sein de la compagnie TASSILI AIRLINES, au services d'exploitations, leur rigueur scientifique, leur disponibilité et leur qualités humaines nous ont profondément touchée. leur soutien, leur compétences nous ont été d'une aide inestimable. Aussi pour avoir accepté de diriger ce travail;

Nous tenons à remercier également notre Promoteur Mr Boudani Abd el Kader docteur au niveau de l'I.A.E.S, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de nous prêter main forte dans notre travail. Sa disponibilité, sa méthode de travail et son niveau intellectuel qui nous a préparé a réaliser ce travail ;

Nous souhaitons remercier Madame Yasmine qui nous a donné une aide précieuse pour la réalisation du logiciel qui touche le coté d'informatique ;

Nous adressons également notre profonde gratitude à l'ensemble des ingénieurs et techniciens supérieurs de TASSILI AIRLINES, qui ont contribué de près ou de loin avec la moindre information, orientation ou encouragement, afin de nous aider dans notre travail ;

Enfin nous présentons nos chaleureux et sincères remerciements à monsieur le président et les membres du jury qui nous font le grand honneur d'évaluer ce travail.

Dédicaces :

Je dédie ce modeste travail à :

Maman, je ne pourrai pas dédier le moindre succès dans ma vie pour quelqu'un avant toi, toi qui est mon bonheur et qui a tout sacrifié pour nous voir heureux dans la vie, je suis en train d'écrire ces mots tout en versant des larmes en pensant à chaque moment difficile que tu as enduré avec tes 4 enfants , tout en pensant a ma lointaine enfance et aux hivers ou tu nous réveille pour partir a l'école , nulle personne a une place dans mon cœur comme tu l'a toi, tu as toujours été pour moi je t'aime follement ABBES YAMINA ,

Mon père adoré AMHAMED , toi aussi tu as beaucoup souffert pour nous garder toujours à chaux cette réussite est le fruit de ton sacrifice je t'aime papa, tout ce que je souhaite dans la vie c'est que vous soyez toujours là pour nous, longue vie à vous deux,

A mes très chères frères « YACINE » et « GHAFOUR», vous êtes mes idoles dans la vie, les exemples les plus parfaits dans la bonté du cœur, d'éducation, de loyauté, et de respect, que dieux nous garde unis a jamais,

Ma nièce adorée « RODAINA » que dieu te garde pour nous, et ma chère sœur « SANAA » qui a tend été là pour nous, tu es notre deuxième maman vraiment, tu es l'une des rares personnes qui a contribué à ce qu'on est, et pour mon beau-frère « AMINE »

À mes Amis :Hani l'ingénieur ,Hocine ,Housseem ,Nadijb ,Oussama ,Hamed ,Imed ,Abd Allah

Azzedine,Zineb Minoucha,Youcef

Et a toute la famille el Ardja

*à tous mes chères amis ,mes enseignants et camarades de l'I.A.E.S,
pour ces moments agréables, et pour finir avec mon frère
« CHEMSOU EL guelmi » avec lequel j'ai relevé ce défi*

ALAA



Dédicaces :

Je dédie ce modeste travail à :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Un grand merci à ma moitié " Sofia" qui m'a soutenu tout au long mes études universitaires

*À ma très chère sœur Manel <3
À mon très chère frère Mouise <3
A ma très chère nièce Rouvane <3*

À toute ma famille : ma grand mère, mes tantes, mes oncles et mes cousins et cousines en particulier Skander, Sifou, Hatem, Amir, Ilyes, Rami, Ilyane ,Sara, Mohamed Ali

À la personne qui m'a soutenu toute l'année Mon binôme « Alaa Echelfi » merci beaucoup.

À Mes amis : Zico , Borhane ,Hani ,Ali, Nadjib ,Raouf, Big dile

À tous les étudiants de la promotion Exploitation Aérienne 2017/2018 .

Enfin, Toute personne qui m'aime et que j'aime ...



Chams Eddine

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGUR

LISTE DES TABLEAUX

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

LISTE DES ABRIVAITIONS

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I : Présentation de la compagnie et de l'avion B737-800 W

1.1	Introduction :	20
1.2	Tassili Airlines :	20
1.3	Historique :	21
1.4	IOSA :	21
1.5	Les différentes missions de TASSILI Airlines :	22
1.6	Structure de l'organisation :	22
1.6.1	Organisation de l'ensemble de la compagnie aérienne TAL :	23
1.6.2	Organisation générale de la Direction Exploitation :	24
1.6.3	Politique de TASSILI AIRLINES :	25
1.6.4	Ressource humaines :	26
1.6.5	Stratégie :	26
1.6.6	Les services de TASSILI AIRLINES :	27
1.7	Destinations	27
1.8	La flotte exploitée par la compagnie aérienne :	28
1.9	Activités :	28
1.10	Partenariats :	29
1.11	Présentation de l'avion B737-800 :	29
1.11.1	Présentation du constructeur Boeing :	29
1.11.2	Historique de la constructeur :	29
1.11.3	Description générale sur la famille Boeing 737 :	31
1.10.4	Description de l'avion B737-800 :	32
1.10.5	Les dimensions de B737-800 :	32
1.10.6	Motorisation du B737-800 :	35

1.10.7 Description générale de Boeing 737-800W de Tassili Airlines :.....	35
1.11.8 Cabine des passagers :.....	36

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

2.1 : Introduction	38
2.2 : La politique de la compagnie :	38
2.3:Les masses maxi structurales :	39
2.3.1 Définitions des masses de l'avion :	39
a. Masse maxi structure au décollage :	40
b. Masse maxi structure à l'atterrissage :	40
c. Masse maxi structure sans carburant :	41
d. Masse maxi structure à la mise en route:	41
2.3.2 : Détermination de la masse maximale au lâcher des freins, limitation utile L/U :.....	42
2.4 : Enveloppe opérationnelle:.....	43
2.5 : Carburant Règlementaire :	44
2.5.1 : Introduction :	44
2.5.2 : Politique d'emport carburant selon JAR-OPS-125 :.....	44
2.5.3 : Le Carburant Pour Le Roulage (r) :.....	45
2.5.4 : Consommation De L'Etape, Délestage(d) :.....	46
2.5.5 : La Réserve De Route(RR) :.....	47
2.5.6 : La Réserve De Dégagement (RD) :.....	47
2.5.7 : La Réserve Finale (RF) :	48
2.5.8 : Le Carburant Supplémentaire :.....	48
2.5.9 : Le Carburant Additionnel :.....	48
2.5.10 : Carburant Règlementaire Pour Vol ETOPS :.....	49
2.6 : La relation entre la consommation du carburant avec certains facteurs :	52
2.6.1 : L'altitude de croisière (FL) :	52
2.6.2 : Les régimes de vol :.....	53
2.6.3 : La masse de l'avion :	54
2.6.4 : Le roulage au sol :	55
2.6.5 : Le centrage :	56
2.6.6 : La route choisie avec les distances parcourues :	57
2.6.7: Les conditions météorologiques	57

a. La température:	57
b. Le vent :	58
2.6.8 : Les paramètres moteurs.....	59

Chapitre III : Différentes Méthodes pour la réduction de la consommation carburant

3.1 : Introduction.....	64
3.2 : Procédures opérationnelles visant à réduire la consommation de carburant.....	64
3.2.1 : Masses et centrage.....	64
a. Le poids de l'avion.....	64
3.2.2 : Planification de vol	65
3.2.3 : Au Roulage :.....	65
3.2.4 : La conduite de vol :.....	66
a. Réglage des volets :.....	66
b. La montée	66
c. Vol de croisière :.....	68
d. Le niveau de vol.....	68
e. Descente :.....	69
f. Attente :.....	69
g. Approche:.....	71
3.2.5 : Résumé des pratiques opérationnelles :.....	71
3.3 : Réduction de la réserve de route.....	71
3.3.1 : La procédure “réserve de route réduite” par l'escale technique Facultative :.....	71
a. D'un point de vue légal :.....	72
b. La procédure “réserve de route réduite” est-elle dangereuse ?.....	73
c. Procédure “réserve de route réduite” par la méthode 3 % ERA :.....	73
3.4 Conclusion :.....	76

Chapitre VI : Conception de l'application

4.1 Introduction	78
4.2 Choix des outils de conception.....	78
4.2.1 Langage de développement :	78
a. HTML /CSS :.....	78
B. Java script :.....	78

4.3 Outils de développement :	78
4.3.1 Définition de la base de données :	79
4.3.2 wampServer :	79
4.4 L'environnement de développement :	79
4.4.1 Cakephp :	79
4.4.2 Modele view controller :	80
4.5 Calcul des quantités de carburant et le temps de vol à partir de l'FPPM (FLIGHT PLANING PERFORMANCE MANUEL)de b737-800:	80
4.5.1 Introduction	80
4.5.2Calcul de quantité de carburant :	82
a. Les entrées de l'application	82
4.5.2 Déroulement des calculs	82
a. Calcul de la distance	82
b. La distance orthodromique	82
c. alcul de la distance air	83
d. Calcul de réserve finale	83
e. Calcul de la réserve de dégagement et du temps de vol dégagement	83
f. Calcul du délestage et du temps de vol étape	84
g. Calcul de la réserve de route	84
h. Le roulage	86
4.6 Chargement :	86
4.6.1 Présentation des masses forfaitaires passagers et bagages :	86
4.6.2 Présentation des masses forfaitaires des personnels navigants :	86
4.7 Conclusion	87

Chapitre V:Présentation de l'application

5.1 L'interface graphique du Logiciel	89
5.1.1 Étape 1 « aéroports » :	89
5.1.2 Étape de Configuration de vol :	90
5.1.3 Présentation des résultats :	91
a. Choix des aéroports :	92
b. Configuration de vol :	93
c. Résultats :	94
5.1.3 La quantité du carburant est présentée en kilogrammes :	98

5.1.4	Comparaison nos résultats avec un RR égale à 5%D avec un plan de vol CDG-ALG de Tassili Airlines :.....	99
5.2	Conclusion :.....	99

CONCLUSION GENERALE

LISTE DES FIGURE

Chapitre I

Figure 1.1 Un logo de la compagnie Tassili Airlines.....	20
Figure 1.2 : Organisation de l'ensemble de la compagnie aérienne TAL.....	23
Figure 1.3 : Organisation générale de la Direction Exploitation.....	24
Figure 1.4 : Evolution de la famille Boeing 737.....	31
Figure 1.5 : Arrangement générale et les premières dimensions pour une configuration avec Winglets B737-800.....	34
Figure 1.6 : Vue en coupe du moteur CFM56-7B.....	35
Figure 1.7 : Le Boeing 737-800W de la compagnie TASSILI AIRLINES.....	35
Figure 1.8 : Plan de la cabine :.....	36

Chapitre II

Figure 2.1: Les différentes Masses de l'aéronef dans la réglementation.....	40
Figure 2.2: Soulagement de la flexion de l'aile avec le poids du carburant.....	41
Figure 2.3: Exemple d'une enveloppe opérationnelle d'un avion.....	42
Figure 2.4 : Profil de mission.....	45
Figure 2.5: Scénario critique pour un vol ETOPS	50
Figure 2.6: Explication préparation de vol avec escale technique facultative	51
Figure 2.7 : Diminution de la densité de l'air en fonction de l'altitude.....	53
Figure 2.8 : finesse maximale.....	53
Figure 2.9 : La relation entre R_s et m	53
Figure 2.10 : Equilibre avion-	56
Figure 2.11 : Le centrage optimal.....	57
Figure 2.12 : Le triangle des vitesses.....	58

Chapitre III

Figure 3. 1: Le centrage optimal.....	64
Figure 3. 2: Montée par paliers.....	67
Figure 3. 3: Pénalité de consommation de carburant en dehors de la plage d'exploitation maximale.....	68
Figure 3. 4: La consommation en descente.....	69

FFigure3.5 : La variation de la consommation carburant en fonction de vitesse.....	69
Figure 3. 6:Exemple qui démontre Procédure “réserve de route réduite” par la méthode 3 %ERA	75

Chapitre VI

Figure 4. 1: base de données en PHPmyAdmin	79
Figure 4. 2: logo de Cakephp	79
Figure 4. 3: modèle MVC	80
Figure 4. 4: schéma explicative montrant les calculs à faire pour déterminer la quantité de carburant nécessaire pour une étape ainsi le temps de vol selon le constructeur	81
Figure 4.5 : Logigramme de calcul des distance	84
Figure 4.7 : Logigramme de calcul de quantité de carburant et le temps de vol de l'étape.....	87
Figure 4.6 : Logigramme de calcul de quantité de carburant et le temps de vol de l'étape.....	85

Chapitre V

Figure 5 .1 : Ecran d'accueil de l'application.....	89
Figure 5 .2 : Choix des aéroports et affichage des propriétés.....	90
Figure 5 .3 : Présentation de la fenêtre « Flight Planning ».....	91
Figure 5 .4: Présentation des résultats.....	92
Figure 5 .5 : Etape 1 choix d'aéroport CDG-ALG dégagement ORN.....	92
Figure 5 .6 : Etape 2 configuration de vol CDG-ALG.....	93
Figure 5 .7 : Etape 3 résultats de vol CDG-ALG.....	94
Figure 5 .8 : Etape 1 vol CDG-ALG dégagement CZL.....	94
Figure 5 .9 : Etape 2 configuration de vol CDG-ALG dégagement CZL.....	95
Figure 5 .10 : Etape 3 résultat de vol CDG-ALG dégagement CZL.....	96

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau 1.1 : Une fiche technique de la compagnie Tassili Airlines.	20
Tableau 1.2 :Dimensions du B737-800.....	32
Tableau 1.3 :Représente la fiche technique du B737-800.....	33
Tableau 1.4 : Caractéristiques de Boeing 737-800W de TAL :	36

Chapitre II

Tableau 2.1: Récapitulatif pour le calcul de la charge offerte.....	42
Tableau 2.2 : La surconsommation au roulage	46
Tableau 2.4 :La surconsommation au roulage	55

Chapitre II

Tableau 3. 1;La consommation des AIRBUS en fonction de vitesse dans la montée.....	56
--	----

Chapitre VI

Tableau 4 1: les masses forfaitaires passagères utilisées par la compagnie Tassili Airlines.....	86
Tableau 4 2: les masses forfaitaires PN utilisées par la compagnie Tassili Airlines.....	87

Chapitre V

tableau 5. 1 : des résultats de quantité de carburant et la charge offerte avec un $RR = 5\%D$...	97
tableau 5. 2 : des résultats de quantité de carburant et la charge offerte avec un $RR = 3\%D$...	97

Liste des graphes

Chapitre V

graphe 5 1 : comparaison entre les quantités des carburants des vols.....	97
graphe 5 2 comparaison entre les charges offertes de chaque vols.....	98
graphe 5 3 : : comparaison de quantité de carburant entre notre application et un plan de vol de Tassili Airlines.....	99

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [01] https://fr.wikipedia.org/wiki/Tassili_Airlines consulté le 24/03/2018, revu le 19/06/2018.
- [02] Daroui Hala avec ABBAD Sarah Yasmine, «L'emport carburant au niveau de Tassili
- [03] Manuel d'exploitation de Tassili Airlines technique utilisation B737-800 Edition 1 :2011
Révision 1 :03-10-2011
- [04] Messaoudi Fatma Zohra «économie et optimisation carburant ». mémoire fin d'étude.
Université SAAD DAHLEB BLIDA, 2008-2009 ;
- [05] Beriache Ilyas et Tiouchichine Ilyes «Réalisation et conception d'un logiciel qui calcule le carburant de l'étape, Chargement et centrage et les performances au décollage des avions Boeing 737-800W de la compagnie TASSILI AIRLINES» mémoire fin d'étude.
Université SAAD DAHLEB BLIDA, 2014-2015 ;
- [06] LAKHDARI Donia et SALHI Manel, « la politique carburant». Mémoire fin d'étude,
université SAAD DAHLEB BLIDA, promotion 2012 ;
- [07] Commandant Vilain Bernard «Masse et centrage» groupe démos le 09/09/2008 ;
- [08] ZAGHA Karim avec LAIOUER Azzedine «Elaboration d'un logiciel pour le calcul de masse et centrage ». mémoire fin d'étude. Université SAAD DAHLEB Blida 2010 ;
- [09] JAR OPS1, « Préparation du vol». Module opérations aérienne, Europe 1 avril 1998 ;
- [10] « Fuel conservation and Operations newsletter», January-March 1986;
- [11] Ecole Nationale De L'aviation Civile « Cours d'Exploitation technique des avions de transport publique», TOULOUSE, Février 2005 ;
- [12] Service des hydrocarbures «fuel density » Naftal, Alger le 08/03/2018 ;
- [13] Airbus « getting to grips with weight and balance», Flight operation assistance, and line support;

[14] AIRBUS - « Atelier sur les mesures opérationnelles » O.A.C.I, Montréal, 20-21
septembre 2006 ;

[15] Commandant vilain Bernard « Les limites d'utilisation » groupe demos le 09/09/2008 :

[16] Daniel caivin « Aérodynamique, Mécanique de vol », Institut d'aéronautique jean
mermoz, Mai 2009 ;

[17] Dave Anderson Ingénierie des opérations aériennes Boeing Commercial Airplanes
Septembre 2006 ;

[18] Les escales techniques facultatives v2 ;

[19] EU-OPS 1.425 ([https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL / /?uri /
=CELEX%3A32008R0859](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL / /?uri / =CELEX%3A32008R0859))

[20] <https://fr.wikipedia.org/wiki/JavaScript>

[21] l'FPPM (FLIGHT PLANING PERFORMANCE MANUEL) Revision N 02, auteur
The BOEING COMPANY DOCUMENT NUMBER D632A008-ZZ201 Revision
Number 2, Revision data september 18, 2013

Liste des abréviations

ADD : Carburant Additionnel

APU: Auxilary Power Unit

ATC: Air Trafic Controlor

C/O : La charge offerte

CBD : Commandant de bord

Cd : Consommation distance minimale

CG : Centre de gravité

CGCC : Centre de l'ordinateur pilote de gravité

CI : Cost index

Cr : La capacité réservoir

Ct : Charge transportée

Cx : Coefficient de trainée

Cz : Coefficient de portance

Cz : Coefficient de portance

D : Délestage d'étape

DEP : Départ

DEST : Destination

DOW : Masse de base en opération

EFB: Electronic flight bag

EGT: Exhaust Gas Temperature

Etops: Extended for twice engine operation

F/F: Fuel flow

FBS: Flight safety board

FL: Flight level

FMS: Flight management system

IATA : Association internationale du transport aérien

ISA : International Standard Atmosphere

ISA : Atmosphere standard

K : Coefficient de transport carburant

KT : Nœuds

L/U : Limitation utile

LAM: Landing mass

LRC : Long range Cruise

Mb : La masse de base opérationnelle

Mdéc : Masse réelle au décollage

MMSA : Masse maximale de structure au décollage

MMSC : Masse maximale sans carburant dans la voilure

MMSD : Masse maximale de structure au décollage

Mn : Minute

MRC : Maximum Range Cruise

Msc : Masse réelle sans carburant

MSLF : Masse Maximale de Structure au lâcher des freins

MZFW : Maximum zero fuel weight

N : Nombre de moteurs

NM : Nautique miles

OACI : Organisation de l'Aviation Civil International

Qc : Quantité carburant

R:Roulage

RD : Réserve de dégagement

RF : Réserve final

RPM : Régime moteur

RR : Réserve de route

T : Temps

TOM: Take of mass

TTA: Tassili travail aérien

Vp : Vitesse propre

VS : Vitesse sol

Vw : Vitesse du vent

XTR : Le carburant extra

Zp : Niveau de vol

Δ LAM : Delta landing mass

Δ TOM : Delta take of masse

FPPM: flight PLANING PERFORMANCE MANUEL

HTML: Hypertext Mark-up language

CSS : Cascading Style Sheets

MVC: Model view controller

ALG : Aéroport d'Alger

CZL : Aéroport de Constantine

CDG : Aéroport de paris

ORN : Aéroport d'Oran

SXB : Aéroport de Strasbourg

TMR : Aéroport de Tamanrasset

Introduction générale

Introduction générale :

La préparation des vols est une tâche primordiale, pour les agents techniques d'exploitation ainsi que les pilotes, cette tâche reste délicate et longue et doit être effectuée avant chaque vol, de plus elle est exposée aux erreurs dues à la fatigue et au facteur humain.

La préparation des vols a pour but de déterminer la limitation la plus contraignante au décollage, ainsi que la masse maximale opérationnelle en fonction des conditions de jour et de la piste utilisée.

Pour atteindre un seuil élevé de la sécurité des vols, et afin de faciliter la tâche de l'agent technique d'exploitation, du pilote et de gagner de temps dans la préparation des vols nous proposons dans ce mémoire d'automatiser cette opération.

Notre travail consiste à réaliser un logiciel qui en prenant les caractéristiques de l'avion Boeing 737-800W, les données des aéroports ainsi que les conditions météorologiques du jour, le chargement, et la quantité de carburant à embarquer tout en respectant la réglementation avec une précision comparable à la méthode manuelle.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres. Les deux premiers présentent la compagnie aérienne TASSILI AIRLINES, le type d'avion B737-800W et généralité sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation. Le troisième chapitre explique les différentes méthodes pour la réduction de consommation de carburant et le quatrième traitera de la manière dont a été conçue l'application et enfin le cinquième et le dernier chapitre porte sur l'emploi de logiciel et représentation des résultats.

CHAPITRE I

1.1 Introduction :

Nous allons débiter notre travail avec une présentation détaillée de la compagnie aérienne : TASSILI AIRLINES, qui nous a accueilli a bras ouverts pour mettre a notre disposition tous les moyens matériels et humains, un entourage ergonomique très motivant a travailler.



Figure 1.1 Un logo de la compagnie Tassili Airlines

1.2 Tassili Airlines :

Tassili Airlines, est une compagnie aérienne algérienne filiale du groupe pétrolier Sonatrach. Elle assure des vols réguliers nationaux et internationaux ainsi les vols chartres et chartres pétroliers. La base mère de la compagnie TASSILI Airlines est l'aéroport d'Alger ainsi Hassi Messaoud est considéré comme une base secondaire.

Depuis octobre 2011, Tassili Airlines propose une offre voyageuse pour le grand public sur des vols intérieurs et internationaux. [01]

Tableau 1.1 : Une fiche technique de la compagnie Tassili Airlines.

Repère Historique		
Date de création	30 mars 1997	
IATA	OACI	Indicatif d'appel
SF	DTH	DTH Tassili Airlines
Généralités		
Basée à	Aéroport houari Boumediene DAAG / ALG	
Taille de la flotte	12	
Nombre de destination	34	
Siège social	Alger, Algérie	

1.3 Historique :

Tassili Airlines est créée le 4 mars 1998, a effectué 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 : Naftal Tassili Air, qui s'occupe du transport des travailleurs du secteur à partir des gisements d'hydrocarbures, Tassili Airlines, qui s'occupe du transport public national 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 deux vols internationaux à destination de Saint-Étienne et Grenoble en France. Le 13 novembre 2014, la compagnie a inauguré deux nouvelles liaisons à destination de Marseille et Strasbourg en France.

Le 10 juillet 2015, la compagnie a inauguré une nouvelle liaison à destination de Lyon en France.

Le 4 juin 2016, la compagnie inaugurera une nouvelle liaison au départ de Constantine et à destination de Strasbourg. [01]

1.4 IOSA :

Tassili Airlines s'est inscrite volontairement dans le programme IOSA (IATA Opérationnel Safety Audit) en vue de rehausser le niveau de sécurité de ses activités.

1.5 Les différentes missions de TASSILI Airlines :

La société a pour objet l'organisation et l'exploitation de services aériens de transport par aéronef, sur le réseau national et international, dans le domaine suivant :

- ❖ Charters pour la SONATRACH et ses filiales (Groupements et Associations).
- ❖ Vols à la Demande (taxi aérien, vols VIP).
- ❖ Réalisation des vols réguliers.
- ❖ Réalisation des vols à la demande.
- ❖ Affrètement d'avions.
- ❖ Entretien technique des avions.
- ❖ Formation du personnel technique aéronautique.
- ❖ Activité connexe (Catering, assistance au sol, représentation,...).

Toutes autres opérations industrielles, commerciales, financières et immobilières se rattachant directement ou indirectement à son objet social. [01]

1.6 Structure de l'organisation :

La compagnie aérienne TASSILI AIRLINES englobe quatre départements généraux qui sont :

- S/Direction Qualité ;
- S/Direction d'Informatique et Télécommunications ;
- Bureau Sûreté Aérienne ;
- Bureau Sécurité des vols.

Ainsi que six directions qui sont les suivantes :

- Direction Etudes Planification ;
- Direction des Ressources Humaines ;
- Direction Finances et Comptabilité ;
- Direction Commerciale ;
- Direction Technique ;
- Direction Exploitation

Le tout étant sous le patronat du Président Directeur Général (voir l'organigramme de l'organisation de la compagnie). [01]

1.6.1 Organisation de l'ensemble de la compagnie aérienne TAL :

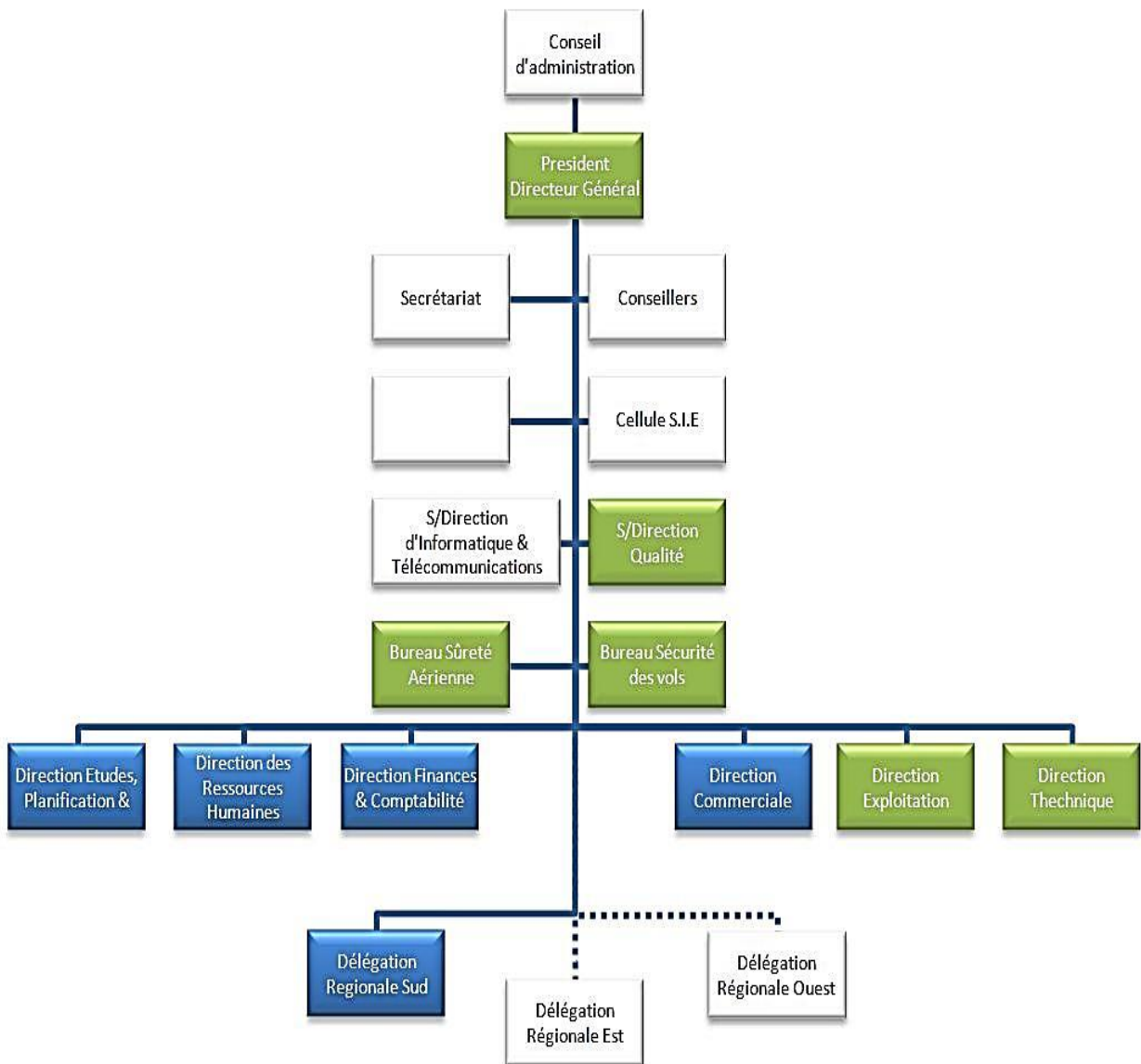


Figure 1.2 : Organisation de l'ensemble de la compagnie aérienne TAL

1.6.2 Organisation générale de la Direction Exploitation :

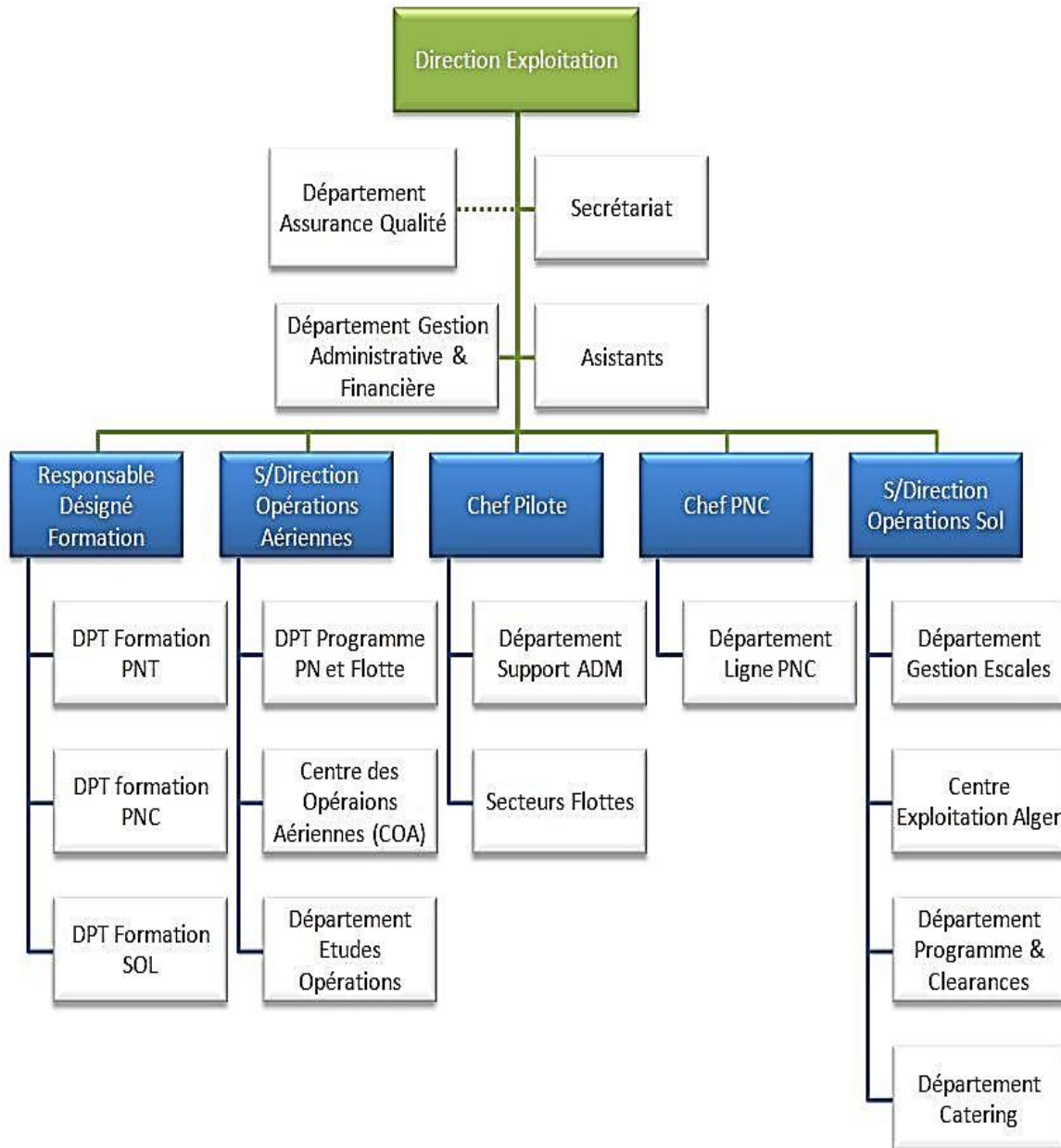


Figure 1.3 : Organisation générale de la Direction Exploitation

1.6.3 Politique de TASSILI AIRLINES :

- Une politique articulée autour de 5 engagements fondamentaux :
- Sécurité des vols
- Sureté aérienne
- Qualité
- Hygiène, santé, sécurité, et environnement HSE
- Certification IOSA (IATA Operational Safety Audit)
- L'implication collective garante de l'efficacité maximale

1.6.3.1 Sécurité des vols :

- Implémentation du système de gestion de la sécurité SGS exigé par l'OACI :
- Création de la structure chargée du suivi de l'analyse et de la sécurité des vols (Flight Safety bureau/ FSB)
- Mise en place d'un comité de sécurité des vols pour l'identification des dangers et la gestion des risques
- Mise en place d'une cellule de traitement des incidents et prise en considération du retour expérience (recommandations)
- Mise en place d'un plan d'urgence qui décrit et précise les tâches, responsabilité et action à entreprendre face aux conséquences d'un accident.

1.6.3.2 Sureté Aérienne :

Le programme de sureté aérienne est une exigence résultant de l'annexe 17 de l'OACI et concerne la protection des personnes et des biens contre tout acte d'intervention illicite.

1.6.3.3 Qualité :

Implémentation du Système de Gestion Qualité SGQ exigé par la réglementation nationale et internationale.

Programme d'Audit Qualité 2011 approuvé et en cours d'exécution sensibilisation de personnel de TASSILI ARLINSE en matière de qualité et de facteur humain.

Surveillance permanente de l'application des procédures réglementaires et l'application du principe de l'amélioration continue.

1.6.3.4 Hygiène, Santé, Sécurité et environnement HSE :

Application effective de la politique de groupe SONATRACH en matière, santé, sécurité et environnement.

Maitrise des risques professionnels en entreprise

Coordination des travaux en vue de l'obtention de certification ISO 14001 et OHSAS 18001 dès 2012

1.6.3.5 IOSA :

TASSILI AIRLINES s'est inscrit volontairement dans le programme IOSA en vue de rehausser le niveau de sécurité de ses activités.[02]

1.6.4 Ressource humaines :

❖ **Recrutement :**

Une démarche de développement des ressource est mise en œuvre en appui à la stratégie de la compagnie.

- Plan annuels de recrutement et de formation ciblant en priorité les métiers clés (maintenance, exploitation et commercial)
- Outils modernes de GRH (Bourse de l'emploi pour les postes de responsabilité et sélection pour les postes clés de la compagnie.

❖ **Formation :**

Poursuite des efforts de valorisations du potentiel humain et amélioration constant de ses performances techniques par des actions de formation et de perfectionnement.

Effort focalisée sur les formations qualifiantes du personnel navigant et de maintenance.

1.6.5 Stratégie :

TASSILI AIRLINES a concentré ses efforts sur la poursuite de son développement dans tous les domaines et en particulier :

- La modernisation de son organisation
- La mise en conformité de pratique et de procédure
- Le renforcement de tous ses moyens matériels et humains

Sur le plan de l'activité commerciale un programme de développement ciblant aussi bien le marché pétrolier que celui du grand public est envisagé en vue d'augmenter les parts de marché de TASSILI AIRLINES tout en intensifiant des segments de marché existant.

1.6.6 Les services de TASSILI AIRLINES :

❖ Vols charters pétrolier :

C'est la vocation première de TASSILI AIRLINES qui collabore avec les sociétés pétrolières parapétrolières et toutes celles du secteur de l'énergie et des mines en mettant à leur disposition des vols charters dédiés à leurs besoins spécifiques.

❖ Vols à la demande :

La compagnie met à la disposition de toutes institutions demandeuses un service location d'avion ou d'hélicoptère suivant plusieurs formules un vol une série de vol évacuation sanitaire.

1.7 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 de Hassi Messaoud, de Hassi R'Mel et de Zarzaitine. En juillet 2013, elle ouvre ses premières destinations des vols réguliers nationaux et l'international au grand public :

❖ Algérie (vols internes) :

Adrar- Aéroport d'Adrar - Touat - Cheikh Sidi Mohamed Belkebir ;

Alger - Aéroport d'Alger - Houari Boumédiène (Base) ;

Annaba- Aéroport d'Annaba - Rabah Bitat ;

Batna - Aéroport de Batna - Mostepha Ben Boulaid ;

Béjaïa - Aéroport de Béjaïa - Soummam - AbaneRamdane ;

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) ;

HassiR'Mel- Aéroport d'HassiR'Mel - Tlirhemt ;

Illizi- Aéroport d'Illizi - Takhamalt ;

In Aménas- Aéroport de Zarzäitine - In Amenas ;
Oran- Aéroport d'Oran - Ahmed Ben Bella ;
Sétif- Aéroport de Sétif - 08 mai 1945 ;
Tamanrasset- Aéroport de Tamanrasset - Aguenar - Hadj Bey Akhamok ;
Tindouf- Aéroport de Tindouf ;
Tlemcen- Aéroport de Tlemcen - Zenata - Messali El Hadj ;
El-Bayadh .

❖ France :

Lyon- Aéroport de Lyon-Saint-Exupéry ;
Marseille- Aéroport de Marseille Provence ;
Nantes- Aéroport de Nantes Atlantique ;
Paris- Aéroport Charles de Gaulle ;
Strasbourg- Aéroport de Strasbourg-Entzheim.[01]

1.8 La flotte exploitée par la compagnie aérienne :

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. Elle est composée de 31 aéronefs dont la capacité va de 4 à 155 sièges : Cette flotte est en cours de modernisation et d'extension ; les avions les plus récents, reçus en 2011, sont des Boeing 737 – 800 NG. [02]

→ Les types d'avion de la flotte de Tassili Airlines :

- ❖ 04 Boeing 737 – 800 : 7T-VCA, 7T-VCB, 7T-VCC et 7T-VCD.
- ❖ 04 Bombardier DASH 8 - Q400 (: 7T-VCL, 7T-VCM, 7T-VCN et 7T-VCO.
- ❖ 04 Bombardier DASH 8 - Q200 : 7T-VCP, 7T-VCQ, 7T-VCR et 7T-VCS. [02]

1.9 Activités :

- Charters pour la SONATRACH et ses filiales (Groupements ou Associations inclus)
- Mises à disposition permanente (hélicoptères, Beechcraft et STOL)
- EVASAN / Évacuations Sanitaires (en moyenne 2 par mois en Beechcraft)
- Vols à la demande (travail aérien, taxi aérien, VIP ou sensibles)
- Navettes SUD quotidiennes (depuis avril 2009) au départ d'Alger.

1.10 Partenariats :

- Tassili Airlines entretient un partenariat avec Air Algérie à travers des conventions d'assistance :
 - Maintenance
 - Assistance au Sol
 - Assistance Technique
 - Catering.
- Contacts avec plusieurs entités en vue de développer des partenariats durables (compagnies aériennes, hôtels, aéroports, etc...)

1.11 Présentation de l'avion B737-800 :

1.11.1 Présentation du constructeur Boeing :

Boeing (nom officiel en anglais The Boeing Company) est l'un des plus grands constructeurs aéronautiques et aérospatiaux au monde. Son siège social est situé à Chicago, dans l'Illinois. Ses deux plus grandes usines sont situées à Wichita au Kansas et à Everett, près de Seattle. Cet avionneur s'est spécialisé dans la conception d'avions civils, mais également dans l'aéronautique militaire, les hélicoptères ainsi que dans les satellites et les fusées avec sa division Boeing Integrated Defense Systems.[03]

1.11.2 Historique de la constructeur :

La compagnie est née le 15 juillet 1916 grâce à ses deux pères William E. Boeing et George Conrad Westervelt et est baptisée « B&W ». Peu après, son nom deviendra « Pacific Aero Products », et enfin « Boeing Airplane Company ».

En 1917, avec l'entrée en guerre des États-Unis, la Navy commanda 50 hydravions d'entraînement Model C, la première commande de Boeing. En 1923 Boeing fabriqua un avion de transport postal le Model 40A et en 1927 elle remporta un contrat pour assurer la liaison aéro postale San Francisco-Chicago.

Boeing créa alors « Boeing Air Transport » pour s'occuper de ses activités de transports aériens. Pendant la première année, près de 2 000 passagers furent transportés et on entreprit alors de créer des avions spécialement étudiés pour le transport des passagers, c'est ainsi que le Model 80 fut lancé. Dans les années qui suivirent, Boeing se mit à acquérir de

nombreuses entreprises de fabrication d'avions, de moteurs, des compagnies aériennes et en 1929, Boeing changea son nom en United Aircraft and Transport Corporation.

En 1934, Boeing est devenu une grande entreprise fabriquant des avions, des moteurs, transportant le courrier postal, s'occupant des aéroports et assurant de nombreuses lignes aériennes. Mais, sous la pression d'une loi anti-trust interdisant aux constructeurs d'exploiter des lignes aériennes, ses créateurs vendent leurs participations et « United Aircraft and Transport » est scindée en trois entités :

- United Airlines responsable du transport aérien ;
- United Aircraft responsable de la fabrication dans l'Est du pays ;
- Boeing Airplane Company responsable de la fabrication dans l'Ouest du pays.

Peu après, un accord avec la compagnie aérienne Pan American World Airways fut signé, pour développer et produire un hydravion commercial capable de transporter des passagers sur les routes transatlantiques. Le Boeing 314 Clipper fit son premier vol en juin 1938. C'était le plus gros avion civil de son temps, il pouvait transporter 90 passagers sur les vols de jour et 40 passagers sur les vols de nuit. Un an après, la première ligne commerciale des États-Unis au Royaume-Uni fut inaugurée. D'autres routes aériennes furent ouvertes qui exploitaient le Boeing 314.

En 1938, Boeing mit en service le 307 Stratoliner, c'était le premier avion de transport à cabine pressurisée ; il était capable de voler à une altitude de croisière de 20 000 pieds, donc au-dessus de la plupart des perturbations météorologiques. Ce qui fait de lui l'avion le plus résistant de la flotte Boeing.

Pendant la Seconde Guerre Mondiale, Boeing construisit un grand nombre de bombardiers B-17 et B-29. Beaucoup de travailleurs étaient des femmes dont les maris étaient partis à la guerre.

Quelques Chiffres

Ses effectifs au 28 avril 2011 s'élèvent à 164 495 personnes, répartis à travers le monde. Son chiffre d'affaires est de 68,595 milliards US\$ (2011).[03]

1.11.3 Description générale sur la famille Boeing 737 :

Le Boeing 737 Next Génération, communément appelé Boeing 737NG, est le nom donné aux versions 600, 700, 800 et 900 du Boeing 737. C'est la troisième génération dérivée du 737, et suit la série 737 Classique (200,300, 400 et 500), dont la production a commencé dans les années 1980. Ils ont une courte ou moyenne autonomie, sont de petits-porteurs. Produit depuis 1996 par Boeing, le 737NG est vendu dans quatre tailles différentes, de 110 à 210 passagers.[03]

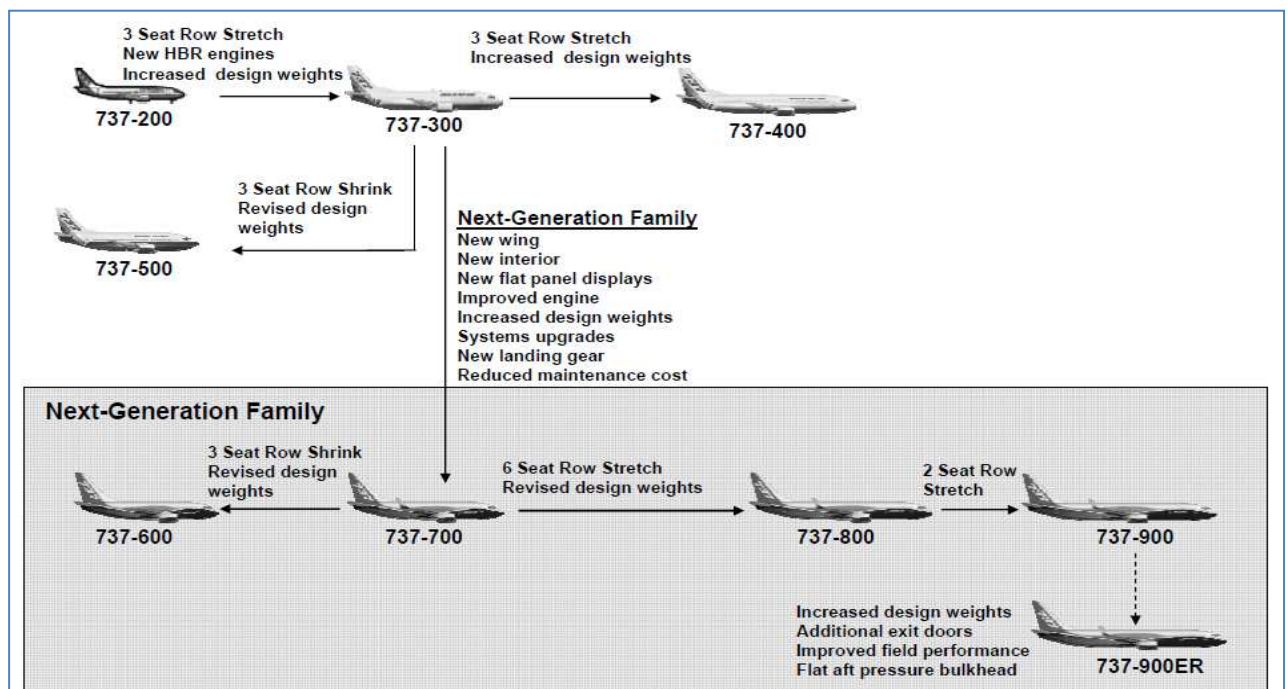


Figure 1.4 : Evolution de la famille Boeing 737

Il existe 9 modèles du B737 répartis en trois générations : Les modèles originaux sont les 737-100 et 200 ; Les classiques sont le 737-300, le 737-400 et le 737-500. Enfin la Nouvelle Génération comporte le 737-600, le 737-700, le 737-800 et le 737- 900.

1.10.4 Description de l'avion B737-800 :

Le Boeing 737-800 est la version la plus vendue de la famille 737 Next-Génération, reconnu pour sa fiabilité, l'efficacité énergétique et la performance économique, le 737-800 est sélectionné par les transporteurs de premier plan à travers le monde, car il fournit aux opérateurs la flexibilité nécessaire pour desservir un large éventail de marchés. Le jet des monocouloirs, qui peut accueillir entre 155 à 189 passagers, peut voler 260 miles nautiques plus loin et de consommer de carburant de 7 pour cent de moins tout en transportant 12 passagers de plus que le modèle concurrent.

Le 737-800 a été lancé le 5 septembre 1994, avec des engagements de clients pour plus de 40 avions. La première livraison était de transporteur allemand Hapag-Lloyd au printemps 1998. Le 13 Mars 1998, le 737-800 obtenu la certification de type de la Fédérale Aviation Administration américaine. Validation de type JAA de 737-800 suivi sur Avril 9, 1998.

1.10.5 Les dimensions de B737-800 :

Tableau 1.2 : Dimensions du B737-800

Dimensions	
Longueur hors tout	39.47 M
Longueur du fuselage	38.02 M
Envergure	35.79 M
Hauteur	12.55 M
Empattement	15.60 M
Largeur	3.76 M
Largeur cabine	3.53 M
Surface alaire	124.58 M ²
Envergure Stabilo	14.35 M

Tableau 1.3 :Représente la fiche technique du B737-800

Générales informations	Unités	Model Boeing 737-800 avec Winglets
Masse Maximum de Structure de Manœuvre au Sol (MTW)	Livres	174 900
	Kilogrammes	79 333
Masse Maximum de Structure au Décollage (MTOW)	Livres	174 200
	Kilogrammes	79 015
Masse Maximum de Structure à l'Atterrissage (MLW)	Livres	146 300
	Kilogrammes	66 361
Masse Maximum Sans Carburant (MZFW)	Livres	138 300
	Kilogrammes	62 731
Masse de Base en Opérations (OEW)	Livres	91 300
	Kilogrammes	41 413
Charge Utile Maximum	Livres	43 088
	Kilogrammes	19 544
Capacité Sièges	Bi classes	20Y /135C
	Classe homogène	155
Capacité Réservoirs	Litres	26 022
	Kilogrammes	20 894

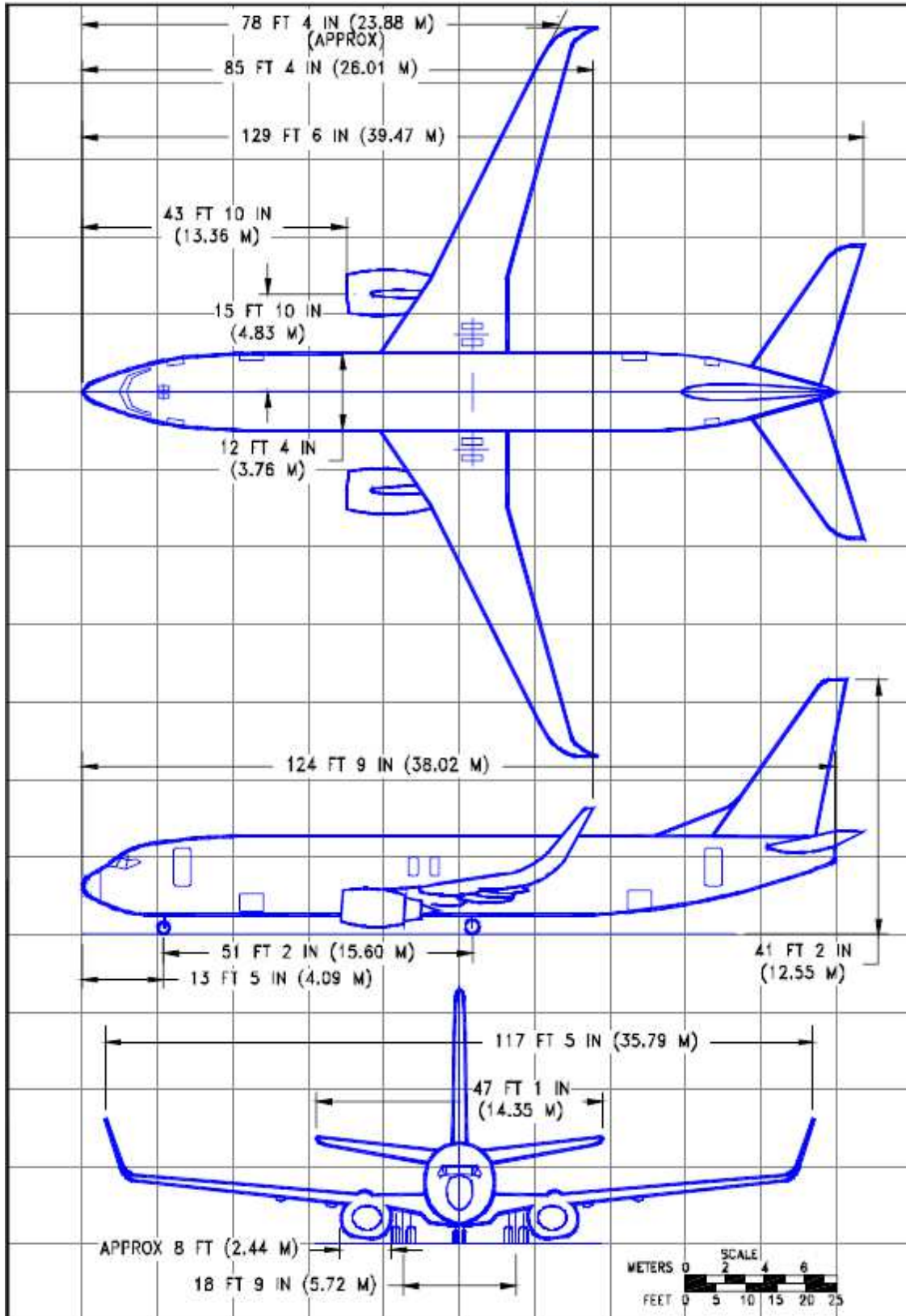


Figure 1.5 : Arrangement générale et les premières dimensions pour une configuration avec Winglets B737-800

1.10.6 Motorisation du B737-800 :

Le B737-800 est motorisé par deux turbo-fans (CFM56-7B 24-27), Le CFM56-7B est un turbo fan, double corps à flux axial à haut taux de dilution, court et léger et d'une conception entièrement modulaire pour faciliter sa maintenance. Il délivre une poussée à l'avion et assure la puissance des circuits de bord.[03]

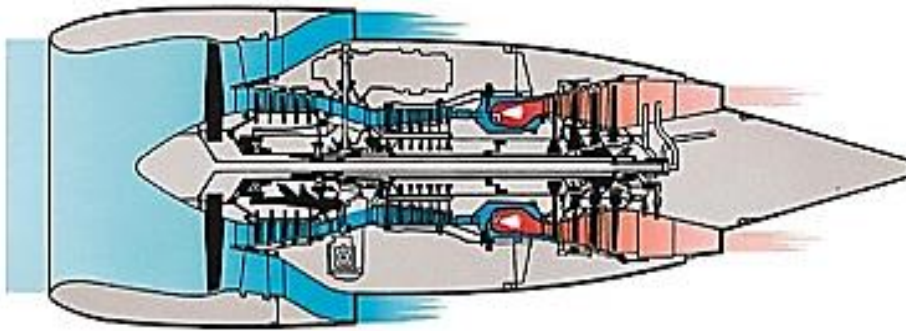


Figure 1.6 : Vue en coupe du moteur CFM56-7B

1.10.7 Description générale de Boeing 737-800W de Tassili Airlines :



Figure 1.7 : Le Boeing 737-800W de la compagnie TASSILI AIRLINES

Tableau 1.4 : Caractéristiques de Boeing 737-800W de TAL

Manufacturer	BOEING
Model	737-800 W
Type	Twin-Engine Jet Transport
Wing span	35.79 m
Total length	39.50 m
Maximum number of passenger	155
Maximum Taxi Weight	79242 Kg
Max Take-Off Weight	79015 kg
Max Landing Weight	65317 kg
Max Zero Fuel Weight	62731 kg
Maximum operating altitude	41000 ft
V_{MO}	340 KIAS
M_{MO}	0.82
Engines	CFM 56-7B27

1.11.8 Cabine des passagers :



Figure 1.8 : Plan de la cabine

Le plan de La cabine est divisé en deux classes :

- 20 sièges pour la première classe (20C).
- 135 sièges pour la classe économique (135Y).

CHAPITRE II

2.1 : INTRODUCTION

Faire voler un avion exige de grandes quantités de carburant pour alimenter les moteurs. Les compagnies aériennes consacrent de 25 % à 36 % de leurs dépenses à l'achat du carburant nécessaire aux avions donc il est intéressant de réduire les dépenses liées à la consommation de carburant autant pour des raisons économiques qu'environnementales.

Dans ce deuxième chapitre nous tenterons d'expliquer les différents facteurs influant et les principaux intervenants qui ont un rapport direct avec la consommation du carburant et qui pourraient compromettre la sécurité aérienne pour une meilleure planification de vol et une bonne gestion du carburant.

2.2 : LA POLITIQUE DE LA COMPAGNIE :

Les compagnies aériennes ayant investi sur une flotte avec des avions neufs, ayant une technologie de pointe, sont nettement plus économiques coté carburant qu'une flotte plus âgée ;

La compagnie compte s'attaquer à la masse des avions car plus l'avion est léger, moins il consomme de carburant. Elle passe à la loupe l'ensemble des équipements et du matériel à bord par l'utilisation de l'EFB (electronic flight bag) ou (Sac de vol électronique), qui est un dispositif électronique de gestion de l'information qui aide les équipages à effectuer des tâches de gestion de vol plus facilement et plus efficacement avec moins de papier. Il s'agit d'une plate-forme informatique d'usage général destinée à réduire ou remplacer le matériel de référence à base de papier comme le manuel de l'avion, d'exploitation, manuel d'exploitation des équipages de conduite, et les cartes de navigation (y compris carte mobile pour opérations aériennes et terrestres). En outre, l'EFB peut héberger des applications logicielles spécialement conçues pour automatiser d'autres fonctions, normalement effectuées à la main, comme les calculs de performances de décollage, centrage...[04]

2.3:LES MASSES MAXI STRUCTURALES :

2.3.1 Définitions des masses de l'avion :

- **Manufacturer's Empty Weight (MEW):** La masse de la structure, des moteurs, les ameublements, les systèmes et d'autres éléments des équipements qui sont considérés parties intégrantes de l'avion. C'est une masse ne considérant que les fluides contenus dans les systèmes fermés (ex: fluide hydraulique).

- **Operational Empty Weight (OEW):** cette masse est la masse à vide du constructeur plus les éléments de l'exploitant, c'est-à-dire : Les équipages de vol et de cabine ainsi que leur bagages, le carburant inutilisable, l'huile moteur, les équipements d'urgence, les liquides et produits de toilette, les galets, les équipements de restauration, les sièges, les documents, etc. ...

- **Dry Operating Weight (DOW):** c'est la masse totale d'un aéronef prêt pour un type d'opération spécifique à l'exception du carburant utilisable et de la charge offerte. C'est-à-dire c'est la masse OEW plus des éléments spécifiques au type de vol, i.e. catering, journaux en papier, équipements de garde-manger, etc. ...

- **Zero Fuel Weight (ZFW):** c'est la masse obtenue en ajoutant la charge marchande totale (cargo, passagers et leurs bagages) à la DOW.

- **Landing Weight (LW) :** c'est la masse à L'atterrissage à L'aéroport de destination. Cette masse est égale à la masse sans carburant plus les réserves de carburant.

- **TakeoffWeight (TOW):** c'est la masse au décollage de l'aéroport de départ. Elle est égale à la masse à l'atterrissage à destination plus le délestage (carburant du vol), ou bien la masse sans carburant plus le carburant au décollage (carburant au lâché des freins en incluant les réserves).

$TOW = DOW + \text{charge marchande} + \text{réserves de carburant} + \text{délestage.}$

$LW = DOW + \text{charge marchande} + \text{réserves de carburant}$

$ZFW = DOW + \text{charge marchande.}$

La figure qui suit montre les différentes masses de l'aéronef:[05]

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

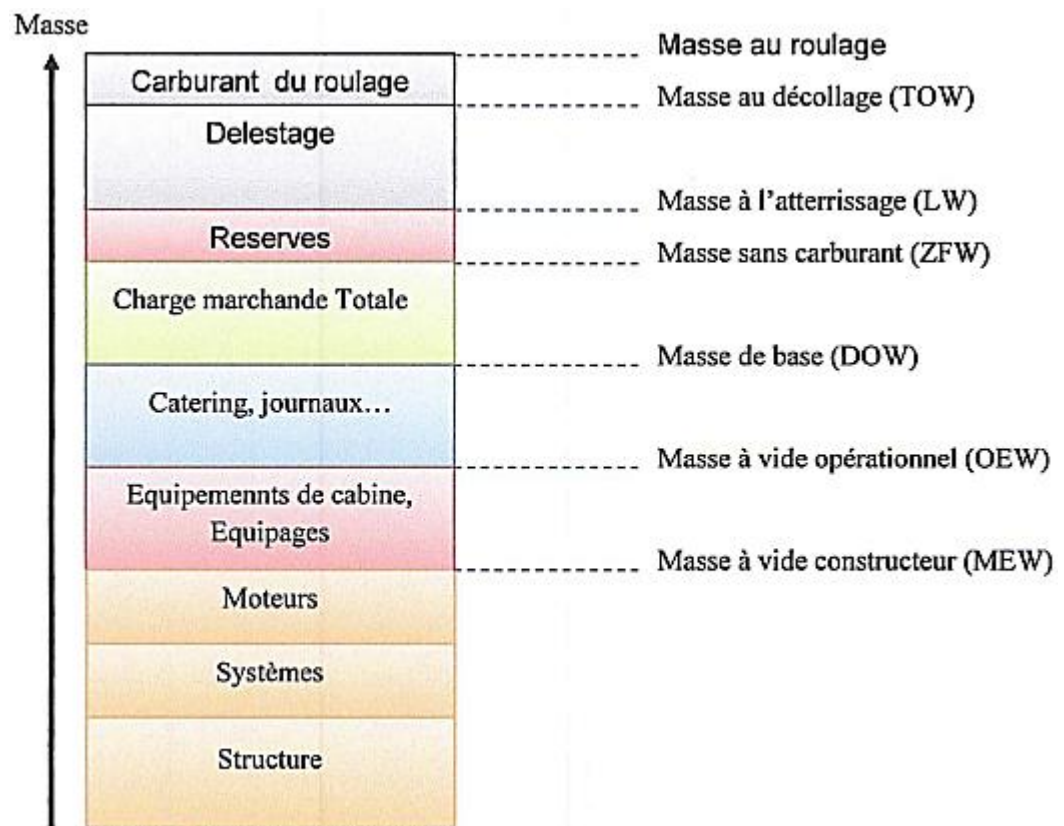


Figure 2.1: Les différentes Masses de l'aéronef dans la réglementation.

a. Masse maxi structure au décollage :

La masse au décollage (TOW) ne doit jamais dépasser la masse maxi structure au décollage (MTOW) qui est déterminée selon le critère de résistance de structure en vol, la résistance du train d'atterrissage et le critère de structure à l'impact à l'atterrissage avec une vitesse verticale égale à $-1,83 \text{ mis}$ (-360 ft/min). [08]

Avion	MMSD
B737-800	79.01t

b. Masse maxi structure à l'atterrissage :

La masse à l'atterrissage (LW) est limitée, en considérant un impact à l'atterrissage avec une vitesse verticale égale à $-3,05 \text{ mis}$ (-600 ft/min). Cette limite est la masse maxi structure à l'atterrissage (MLW). La masse à l'atterrissage doit satisfaire la relation:

$$LW = TOW - \text{Délestage} \leq MLW \quad , \text{ Ou}$$

$$TOW \leq MLW + \text{Délestage} \quad [08]$$

avion	MMSA
B737-800	65.3t

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

c. Masse maxi structure sans carburant :

Les moments de flexion, qui s'appliquent à l'emplanture des ailes, sont maxima quand la quantité de carburant dans les ailes est minimum. Durant le vol, la quantité de carburant dans les ailes diminue. En conséquence, il est nécessaire de limiter la masse quand il n'y a pas de carburant dans les réservoirs. Cette limite est la masse maxi sans carburant (MZFW). [08]

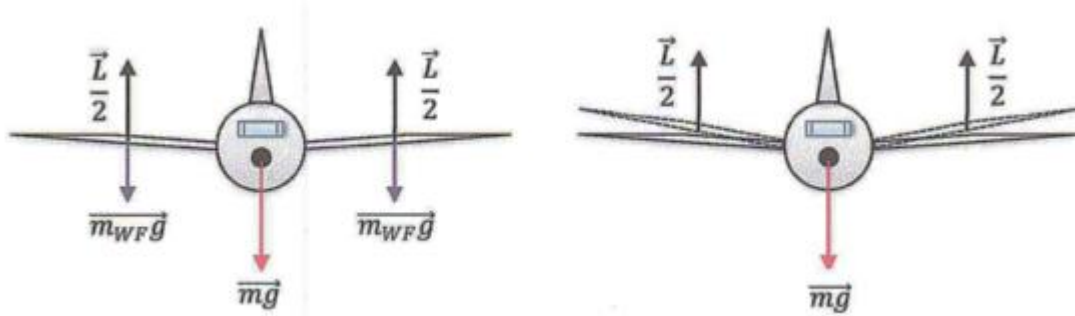


Figure 2.2: Soulagement de la flexion de l'aile avec le poids du carburant

Donc, cette limitation est définie par: ZFW réelle \leq MZFW

Le carburant au décollage est la somme du délestage et des réserves, d'où:

$$\text{TOW} \leq \text{MZFW} + \text{carburant au décollage}$$

Avion	MMSC
B737-800	62.73t

d. Masse maxi structure à la mise en route:

C'est la masse maximale imposée notamment par les efforts sur les amortisseurs et la flexion potentielle du train d'atterrissage lors des virages au roulage. Néanmoins, cette masse n'est pas un facteur limitatif et est définie par la masse maxi au décollage. [08]

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

2.3.2 : Détermination de la masse maximale au lâcher des freins, limitation utile L/U :

Pour tenir compte des limitations, nous devons vérifier le respect simultané des relations suivantes :

- Masse réelle au décollage (lâcher des freins) \leq MMSD
- Masse réelle au décollage (lâcher des freins) \leq MMSA+d
- Masse réelle au décollage (lâcher des freins) \leq MMSC+Q_{LF}

La masse maximale au décollage qui sera la plus petite des quantités

(MMSD, MMSA + d, MMSC + Q_{LF}) sera appelée par définition Limitation Utile (L/U).

Donc :

$$\text{Limitation Utile (L/U)} = \text{Min (MMSD, MMSA + d, MMSC + Q}_{\text{LF}})$$

- Calcul de la Charge Offerte C/O :

Sachant que la masse de l'avion est constituée par :

- Masse de base (m_{base}).
- Quantité de carburant au lâcher des freins (Q_{LF}).
- Charge marchande.

Nous devons vérifier que:

$$L/U \leq Mb + Q_{\text{LF}} + \text{Charge marchande}$$

- Si on appelle C/O la charge telle que l'égalité soit vérifiée, on aura:

$$C/O = L/U - (m_{\text{base}} + Q_{\text{LF}})$$

- La quantité ($Mb + Q_{\text{LF}}$ est appelée masse opérations m_{OPS})

$$m_{\text{OPS}} = m_{\text{base}} + Q_{\text{LF}}$$

Les différentes masses citées plus haut sont regroupées et représentées dans le tableau ci-dessous: [05]

Tableau 2.1: Récapitulatif pour le calcul de la charge offerte

Mb		$MZFW$		MLW
Q_{lf}	+	Q_{lf}	+	d
m_{ops}	=	L/U	=	$MTOW$
		m_{ops}	-	
		C/O	=	

2.4 : ENVELOPPE OPERATIONNELLE:

Les limites de la température de l'air ambiante et de l'altitude opérationnelle pour lesquelles L'exploitation est autorisée, doivent être établies en tenant compte des spécifications de vol, de structure, de la motorisation, de la fonctionnalité, ou bien des équipements.

En conséquence on obtient des plages de températures et d'altitudes admissibles, qui ensemble sont connu sous le nom *d'enveloppe opérationnelle*, cette enveloppe est l'ensemble des deux limites (température et altitude) tracés en fonction de l'altitude pression et de la température. A l'intérieur de cette enveloppe, les performances de l'aéronef ont été atteintes et les systèmes de l'aéronef répondent aux exigences de certification, donc tous les vols doivent être effectués dans les limites indiquées c'est à dire à l'intérieur de cette enveloppe.[05]

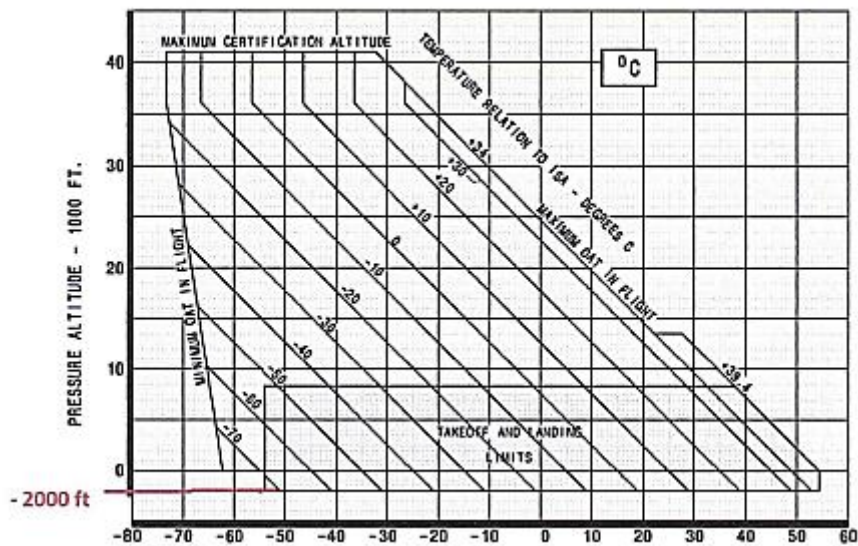


Figure 2.3: Exemple d'une enveloppe opérationnelle d'un avion.

2.5 : CARBURANT REGLEMENTAIRE :

2.5.1 : Introduction :

La réglementation aéronautique impose, en plus de délestage prévu sur une étape certaines réserves de carburant pour effectuer cette étape en toutes sécurités en prenant compte des paramètres suivants:

- Conditions météorologiques
- Trajectoire de l'étape
- Charges
- Altitudes du vol
- Contraintes dues au trafic aérien

Les calculs de carburant sont réalisés à partir des données de consommation fournies par le constructeur de l'avion sous forme d'abaques pour les calculs manuels ou des formules pour les calculs par ordinateur. Les quantités sont fixées dans le paragraphe 7-10, chapitre 3 de l'arrête du 5 novembre 1987 du règlement du transport aérien.

2.5.2 : Politique d'emport carburant selon JAR-OPS-125 :

A) Un exploitant doit établir une politique carburant pour les besoins de la planification vol et de planification en vol pour s'assurer qu'à bord, sur chaque vol, une quantité de carburant suffisante pour le vol prévu et de réserve pour convenir les écarts par rapport à l'opération envisagée.

B) Un exploitant doit s'assurer que lors la préparation du vol le calcul de la quantité minimum de carburant utilisable nécessaire pour le vol comprend:

- Le carburant pour le roulage {r}
- La consommation d'étape {Délestage}
- Les réserves de carburants
- ✓ Réserve de route {RR}
- ✓ Réserve de dégagement {RD}
- ✓ Réserve finale {RF}
- ✓ Le carburant additionnel si le type d'exploitation l'exige (add) ;
- ✓ Du carburant supplémentaire à la demande de commandant de bord (supp).

Le **Q_{park}** devient calculer par l'équation suivante. [09]

$$Q_{\text{park}} = r + d + RR + RD + RF + ADD + SUPP.$$

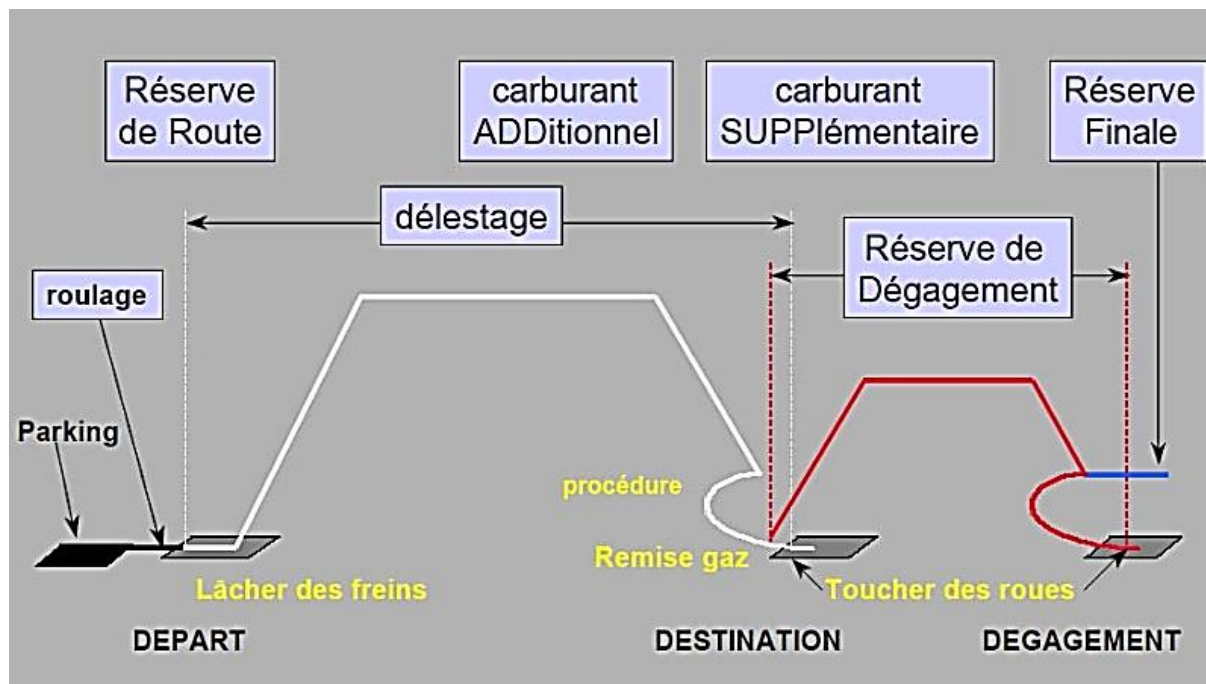


Figure 2.4 : Profil de mission

La quantité de carburant au lâcher des freins est notée Q_{LF} :

$$Q_{LF} = d + RR + RD + RF + ADD + SUPP$$

2.5.3 : Le Carburant Pour Le Roulage (r) :

La quantité de carburant nécessaire pour assurer la mise en route jusqu'au point de lâcher des freins. Cette consommation doit comprendre le démarrage du moteur, le roulage et la consommation du groupe auxiliaire de puissance (APU), et en tenant compte des conditions locales de l'aérodrome. La quantité de carburant au roulage dépend de l'avion.

Le temps réel du roulage a besoin d'être dirigé, puisque les évaluations standards ne peuvent être indifférentes vu les différents paramètres : opérationnels, atmosphériques et infrastructurels qui varient d'un aéroport à un autre, et d'une région à une autre.

Les embouteillages et les dimensions de l'infrastructure aéroportuaire (Exemple : la distance séparant la piste et l'aire de stationnement est très longue...) peuvent provoquer une déstabilisation de consommation. [09]

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

Les nouvelles procédures de roulage au sol, invitent les équipages des avions à utiliser un seul moteur pour le déplacement d'un point à un autre, et cela afin de réduire la consommation au roulage.

A noter bien :

On trouve une différence qui peut s'avérer importante dans la valeur théorique du roulage, et la valeur réelle (consommée lors de la réalisation d'un vol), quelques exemples concrets sur la situation réelle pour le Boeing 737-800 :

Tableau 2.2 : La surconsommation au roulage

Départ/arrivée	Tout-off (min)	Ton-in (min)	MOY TAXI (min)	FF TAXI (KG)	Diff avec (150 kg)
ALG/BJA	10	6	16	240	90
ALG/BKO	6	9	15	225	75
ALG/ORY	9	9	18	270	120
MOYENNE	8.33	8	16.33	245	95

Avec une consommation de : 15kg/mn, et une durée de roulage estimée dans le plan de vol de 10 mn : le roulage égalera à 150kg, mais en réalité : le temps de roulage en moyenne est égale à : $\frac{(16+15+18)}{3} = 16.33$ mn, qui correspondra à 245kg en moyenne, et nous déduisons que la quantité théorique est mal estimée, par rapport à la réalité vue les différents paramètres influents directement sur la quantité brûlée.

2.5.4 : Consommation De L'Etape, Délestage(d) :

Consommation d'étape, carburant utilisé pour décollage, cheminement de départ, montée, croisière (en tenant compte des éventuels changements de niveau), descente, procédure d'arrivée, approche et l'atterrissage sur l'aérodrome de destination.

Donc elle doit inclure:

- ✓ Le carburant utilisé pour le décollage et la montée jusqu'au niveau de croisière compte tenue du départ prévu;
- ✓ Le carburant utilisé du début de la descente jusqu'au début de la procédure d'approche et compte tenu de la procédure d'arrivée prévue
- ✓ Le carburant utilisé de la fin de la montée (TOC) jusqu'au début de la descente (TOO) en tenant compte de toute montée ou descente par paliers;
- ✓ Le carburant nécessaire pour rapproche et l'atterrissage sur l'aérodrome de destination. [09]

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

2.5.5 : La Réserve De Route(RR) :

La réserve de route doit être la plus élevée des quantités suivantes (A) et (B)

A- soit:

- 5% de la consommation d'étape ou en cas de déplanification en vol 5% de la consommation prévu pour le reste de l'étape;
- Au moins de 3% de la consommation d'étape ,en cas de déplanification en vol 3% de la consommation prévue pour le reste de l'étape, sous réserve de l'approche de l'autorité et qu'un aérodrome de dégagement en route soit disponible;
- Une quantité correspondant à 20 mn de la consommation d'étape prévue pour ce vol;
- Une quantité au moins égale à 15 mn à la vitesse à 1500ft (450m) au-dessous de l'aérodrome de destination, en condition standard, lorsque l'exploitant établit un programme approuvé par l'autorité de suivi de carburant pour chaque combinaison individuelle avion/route et que ce programme entre dans une statistique permettant la détermination de réserve de route pour cette combinaison avion/route.

B- Soit:

- Le carburant nécessaire pour voler pendant 5 mn à la vitesse d'attente à 1500ft (450m) au-dessous de l'aérodrome de destination en condition standard.

Pour TASSILI AIRLINES la quantité est fixée à 5% de la consommation prévue pour un vol jusqu'à l'aérodrome de destination. [09]

2.5.6 : La Réserve De Dégagement (RD) :

Quantité de carburant nécessaire pour rejoindre l'aérodrome de dégagement, cette quantité est définie avant le vol, on doit tenir compte d'une panne moteur et une panne de pressurisation dans le point le plus critique de la route.

Le carburant de dégagement suffisant pour effectuer :

- Une approche interrompue à partir de la décision applicable à l'aérodrome de destination jusqu'au point MAPT (ou l'altitude d'approche interrompue) compte tenue de la trajectoire effectuée pour rejoindre celle de rapproche interrompue ;
- Une montée de l'altitude d'approche interrompue jusqu'au de croisière ;
- La croisière entre la fin de la montée et le début de la descente ;

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

- La descente du début de la descente (TOD) jusqu'au début de rapproche compte tenu de la procédure d'approche d'arrivée prévue ;
- L'approche et l'atterrissage sur l'aérodrome de dégagement sélectionné en accord avec le JAR OPS 1-295. [09]

REMARQUE :

Si conformément au JAR OPS 1-295 deux aérodromes de dégagement sont nécessaires, le carburant pour le dégagement doit être suffisant pour voler jusqu'à l'aérodrome de *dégagement exigeant une quantité de dégagement plus importante.*

2.5.7 : La Réserve Finale (RF) :

Carburant nécessaire à un vol de 30mn à la vitesse d'attente en ISA à 1500ft au-dessus de l'aérodrome de dégagement ou de l'aérodrome de destination, si le dégagement n'est pas exigé.

Il faut prévoir une quantité suffisante Qui doit être :

- Pour les avions équipés de moteurs à hélice, la quantité de carburant nécessaire à un vol de 45 minutes ;
- Pour les avions équipés de moteurs à turbines, la quantité de carburant nécessaire à un vol de 30 minutes, à la vitesse d'attente, à 1500 ft (450 m) au-dessus de l'aérodrome, en conditions standard, calculée en fonction de la masse estimée à l'arrivée à l'aérodrome de dégagement ou à l'aérodrome de destination, si aucun aérodrome de dégagement n'est exigé. [09]

2.5.8 : Le Carburant Supplémentaire :

Le carburant supplémentaire, qui doit être laissé à rentière discrétion du commandant de bord. [09]

2.5.9 : Le Carburant Additionnel :

Quantité de carburant emportée en plus et devrait permettre :

- Une attente de 15 minutes, à 1500 ft (450 m) au-dessus de l'aérodrome, en conditions standard, lorsque le vol est en régime IFR, sans l'exigence d'un aérodrome de dégagement à destination;

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

- Et suite à une panne éventuelle d'un moteur ou du système de pressurisation, en supposant que la panne se produit au point le plus critique de la route, à l'avion:
 - ✓ De descendre autant que nécessaire et poursuivre le vol jusqu'à un aéroport adéquat;
 - ✓ Et d'attendre ensuite pendant 15 minutes à 1500 ft (450m) au-dessus de l'aéroport en conditions standards;
 - ✓ Et d'effectuer une approche et un atterrissage.

Cependant, l'emport de carburant additionnel est requis uniquement si la quantité minimale calculée en application des paragraphes ci-dessus ne permet pas de faire face à une telle défaillance.

REMARQUE :

Aéroport de dégagement non exigé si:

- Temps de vol (décollage/atterrissage) $\leq 6h$
- Deux pistes distinctes à destination c.à.d.
 - ✓ Aires d'atterrissage séparées qui peuvent se superposer ou se couper de façon telle le blocage de l'une des pistes n'interfère pas avec les possibilités d'utiliser l'autre piste pour l'exploitation prévue;
 - ✓ Chacune de ces aires d'atterrissage possède sa propre procédure d'approche basée sur sa propre aide radioélectrique.
- De 1 heure avant jusqu'à après l'ETA:
 - ✓ Visibilité $\geq 5km$
 - ✓ Plafond \geq la plus élevée des 2 valeurs:
 - 2000 ft;
 - 500 ft au-dessus de la MDH de manœuvre à vue. [09]

2.5.10 : Carburant Réglementaire Pour Vol ETOPS :

En cas de vol ETOPS la JAR OPS 1-255 précise qu'en tout point de la route l'avion doit disposer du carburant nécessaire pour rejoindre un aéroport accessible avec un moteur en panne et une panne du système de pressurisation et avec des réserves réglementaires.

La panne du système de pressurisation implique une descente d'urgence et une fin de croisière au FL 100, d'où une surconsommation en carburant.

Au niveau de la préparation du vol, il faut envisager un « **scénario critique** » qui consiste en une panne moteur et pressurisation sur le point équidistant entre les deux derniers

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

aérodromes accessibles prévus comme support du vol ETOPS, ce point est critique, car l'avion est en fin de croisière, il dispose donc de peu de carburant. [05]

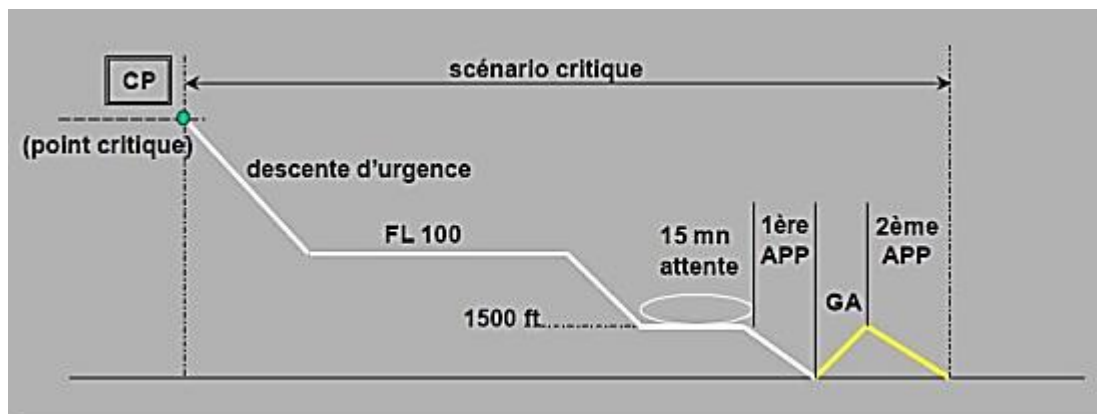


Figure 2.5: Scénario critique pour un vol ETOPS

Le carburant réglementaire au décollage (JAR OPS 1.255) « scénario critique ETOPS », doit comprendre au minimum :

- Le délestage du décollage jusqu'au point équi temps le plus critique ;
- Le délestage, depuis ce point critique jusqu'au terrain de déroutement avec descente et croisière à FL100. Majoré de :
 - 5 % pour tenir compte des imprécisions des données météorologiques;
 - ✓ $X_1\%$ pour tenir compte de la dégradation des performances de l'avion (adapté au type d'avion)
 - ✓ $X_1\%$ pour les conditions givrantes (adapté au type d'avion). [09]

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

Explication:

Vol prévu: AB, dégagement: D

ETF: C, dégagement: D'

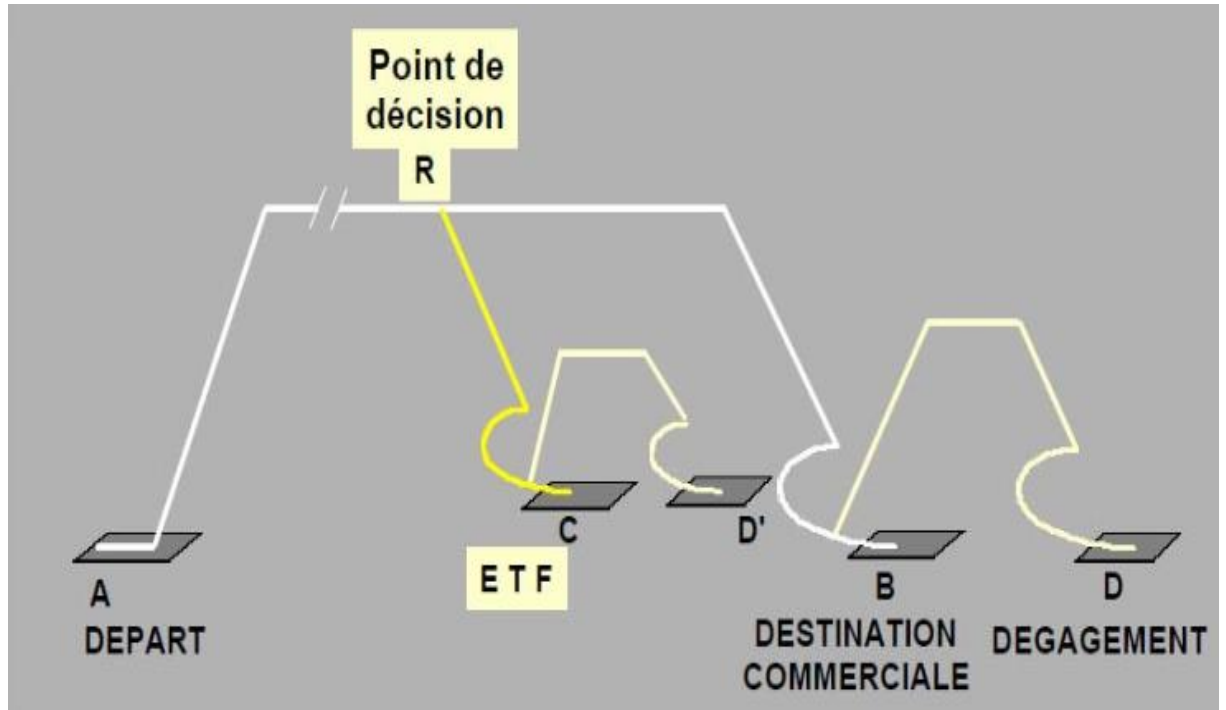


Figure 2.6: Explication préparation de vol avec escale technique facultative

On suppose que $add=supp=0$

Quantité réglementaire sur le trajet direct AB :

$$Q_{DIR} = r + d_{AB} + RR + RD_{BD} + RF$$

Quantité réglementaire sur le trajet direct AC (ETF) :

$$Q_{ETF} = r + d_{AC} + RR_{AC} + RD_{CD'} + RF$$

Quantité réglementaire pour une reclairance :

$$\text{Avec dégagement : } Q_{MIN1} = d_{RB} + RR_{RB} + RD_{BD} + RF$$

$$\text{Sans dégagement : } Q_{MIN2} = d_{RB} + RR_{RB} + RF + Add$$

-Dépôt d'un plan de vol avec ETF :

La quantité commerciale de carburant à embarquer doit être telle que: $Q_{ETF} < Q_{EMB} < Q_{DIR}$

La quantité commerciale de carburant est fonction de la probabilité de réaliser le vol direct et des conditions prévues pour la reclairance en vol. [05]

2.6 : LA RELATION ENTRE LA CONSOMMATION DU CARBURANT AVEC CERTAINS FACTEURS :

Pour chaque vol, nous avons des données différentes (techniques, météorologiques, économiques, stratégiques...etc.) qui sont en relation : soit directe ou indirecte avec la consommation du carburant, d'où la dépendance de l'optimisation de la rentabilité du vol en question, de nombreux facteurs pour être d'une extrême importance pour l'économie ou la perte du carburant, d'où le rôle des ingénieurs l'étude détaillées de tous ces derniers afin d'optimiser pour chaque mouvement de l'avion la consommation, ou du moins rester près de cette optimisation.

2.6.1 : L'altitude de croisière (FL) :

La densité minimale (fortement faible) en haute altitude permet à l'aéronef de générer moins de puissance pour se déplacer, et aussi il y a moins de traînée (moins de frottement) et tout cela pour vitesse bien déterminée en opération, donc ce qui permet un gain de consommation, par contre il existe une limite haute qui empêche les avions de monter au-delà d'une certaine altitude. [10]

La phase de croisière est en principe la partie la plus longue d'un vol. Les performances de l'avion sont donc optimisées pour cette phase. L'altitude de croisière choisit en fonction des performances de l'avion, de la durée de la croisière (les temps de montée et de descente ne sont pas négligeables) et la masse de l'avion. [04]

Il existe des contraintes qui influent sur le choix de l'altitude croisière, qui ne sont pas liés à la capacité d'avion, comme les exigences de l'ATC et les affectations de niveau de vol. Le rayon d'action spécifique augmente avec l'altitude à une valeur maximale. Au-dessus de cette valeur le rayon d'action spécifique diminue.[04]

Pour un mach retenue, il existe une altitude optimale de vol à laquelle l'avion se trouve a la finesse maximale. [11]



Figure 2.7 : Diminution de la densité de l'air en fonction de l'altitude

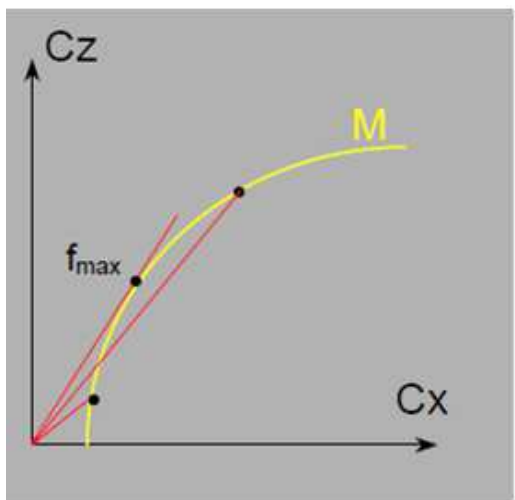


Figure 2.8 : finesse maximale

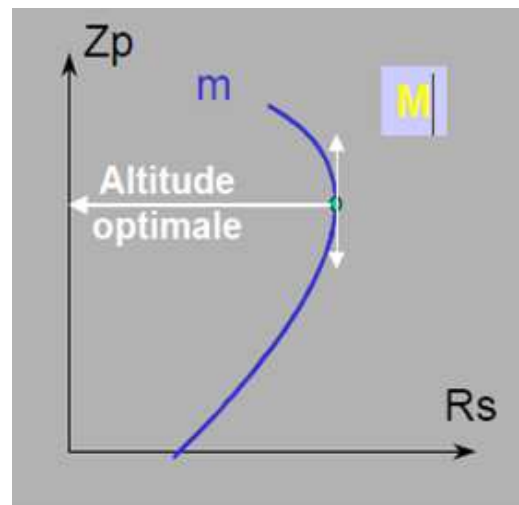


Figure 2.9 : La relation entre R_s et m

2.6.2 : Les régimes de vol :

La plus grande partie du temps et du carburant d'étape sont consommés dans la croisière de vol, donc c'est ce qui fait d'elle la plus importante donc le choix d'un Mach de croisière répondant à des caractéristiques données s'appelle régime de vol, on distingue généralement :

- MRC (Maximum Range Cruise) qui correspond au maximum de rayon d'action R_s , c'est la vitesse qui fournira la plus grande distance parcourue pour une quantité donnée de carburant consommé et le minimum de carburant consommé sur une distance de croisière donnée, lorsque la masse diminue en générale M_{MR} diminue alors que la consommation distance minimale C_d mais la vitesse est faible. Il est utilisé uniquement en secours, pendant un vol, si

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

problème de surconsommation en carburant et pas de programmation de vol au MR.

- LRC (Long Range Cruise) qui correspond à 99% au rayon d'action R_s maxi c.-à-d. LRC est défini comme la vitesse au-dessus de la MRC qui se traduira par une baisse de 1% en rayon d'action spécifique (NM/Kg) ou par lb de carburant consommé donc on a un gain de vitesse qui compense, au plan économique par conséquent l'augmentation de consommation distance C_d .

il est utilisé en première approche d'un régime de vol économique (bon compromis entre temps de vol et consommation et détermination de la réserve de dégagement.

- Mach PRM (prix de revient minimal) C'est le Mach économique de croisière qui optimise le coût de l'étape en considérant le coût de carburant et le coût marginal de l'heure de vol. [03]

2.6.3 : La masse de l'avion :

Tout excès de masses sur un avion prêt à décoller peut engendrer une surconsommation, qui veut dire une perte de carburant.

Une variation d'une tonne sur la masse à vide provoque une variation de 3.5 tonnes sur la masse au décollage.

La compagnie aérienne est dans l'obligation de mettre en œuvre des systèmes ou des moyens de connaissance du poids précis avant le décollage (30 mn avant le décollage), afin de s'assurer que les prévisions de consommation carburant sont précises, techniquement provoqué : la consommation carburant augmente avec un poids de plus en plus important.

L'élimination progressive du double emport par la mise en place d'un catering local dans les aéroports de destination et la limitation de la masse d'eau emportée.

Il existe une relation inversement proportionnelle entre la masse (généralement si nous sommes dans la marge d'une charge importante), avec la pente (que ce soit au décollage, ou à la remise des gazes lors d'un atterrissage interrompu.

$$\text{Pente } \% = \left(\frac{\text{poussée}}{\text{poids}} \cdot \frac{1}{f} \right) [0-1] ; \text{ avec : } f = \frac{C_z}{C_x} [0-2] ;$$

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

2.6.4 : Le roulage au sol :

Le temps réel du roulage a besoin d'être dirigé, puisque les évaluations standards ne peuvent être indifférentes vu les différents paramètres : opérationnels, atmosphériques et infrastructurels qui varient d'un aéroport à un autre, et d'une région à une autre.

Les embouteillages et les dimensions de l'infrastructure aéroportuaire (Exemple : la distance séparant la piste et l'aire de stationnement est très longue...) peuvent provoquer une déstabilisation de consommation.

Les nouvelles procédures de roulage au sol, invitent les équipages des avions à utiliser un seul moteur pour le déplacement d'un point à un autre, et cela afin de réduire la consommation au roulage.[15]

A noter bien :

On trouve une différence qui peut s'avérer importante dans la valeur théorique du roulage, et la valeur réelle (consommée lors de la réalisation d'un vol), quelques exemples concrets sur la situation réelle pour le Boeing 737-800 :

Tableau 2.4 : La surconsommation au roulage

Départ/arrivée	Tout-off (min)	Ton-in(min)	MOY TAXI (min)	FF TAXI (KG)	Diff avec (150 kg)
ALG/BJA	10	6	16	240	90
ALG/BKO	6	9	15	225	75
ALG/ORY	9	9	18	270	120
MOYENNE	8.33	8	16.33	245	95

Avec une consommation de : 15kg/mn, et une durée de roulage estimée dans le plan de vol de 10 mn : le roulage égalera à 150kg, mais en réalité : le temps de roulage mn moyenne est égale à : $\frac{(16+15+18)}{3} = 16.33$ mn, qui correspondra à 245kg en moyenne, et nous déduisons que la quantité théorique est mal estimée, par rapport à la réalité vue les différents paramètres influents directement sur la quantité brûlée. [07]

2.6.5 : Le centrage :

Le centrage d'un avion signifie la détermination de la position du centre de gravité et vérifier que celui-ci se trouve dans les limites admises.

Le centrage est exprimé en pourcentage de la corde aérodynamique moyenne de l'aile.

La limite arrière du centrage est fixée par la limite de stabilité tandis que la limite avant est déterminée par la limite de maniabilité.

L'influence du centre de gravité sur la consommation du carburant : [12]

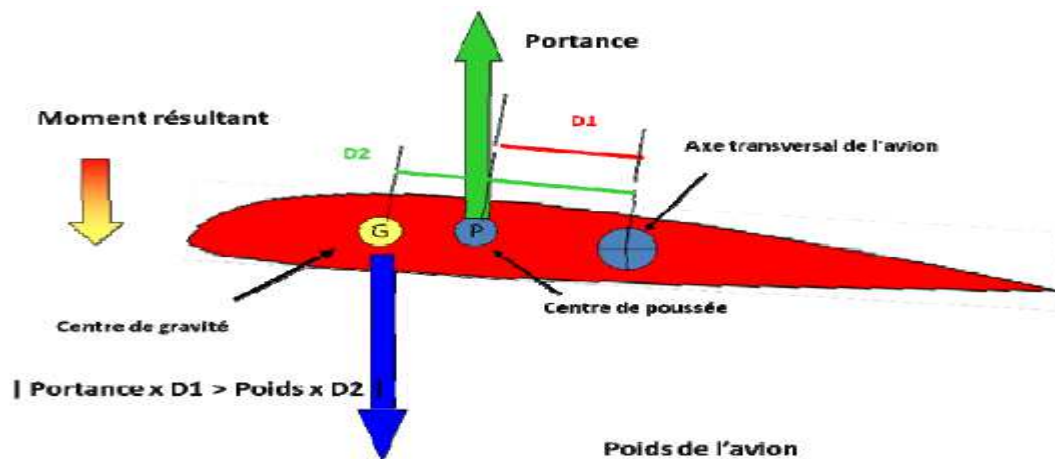


Figure 2.10 : Equilibre avion-

Avec un centrage très en avant, le moment résultant des forces aérodynamiques (Portance) et massiques (Poids) par rapport à l'axe de tangage de l'avion (Point neutre) est fortement piqueur.

C'est à-dire que le « nez » de l'avion a tendance à descendre. Pour équilibrer cette tendance, il faut rendre l'empennage horizontal fortement « sous porteur ». Tout revient de fait à « rajouter du poids » sur l'avion, donc à augmenter sa consommation de carburant.

L'idéal est de centrer l'avion suffisamment vers l'arrière pour que le moment résultant soit le plus faible possible et donc que l'empennage soit faiblement sous porteur voire neutre, ce qui est la situation optimale. [13]

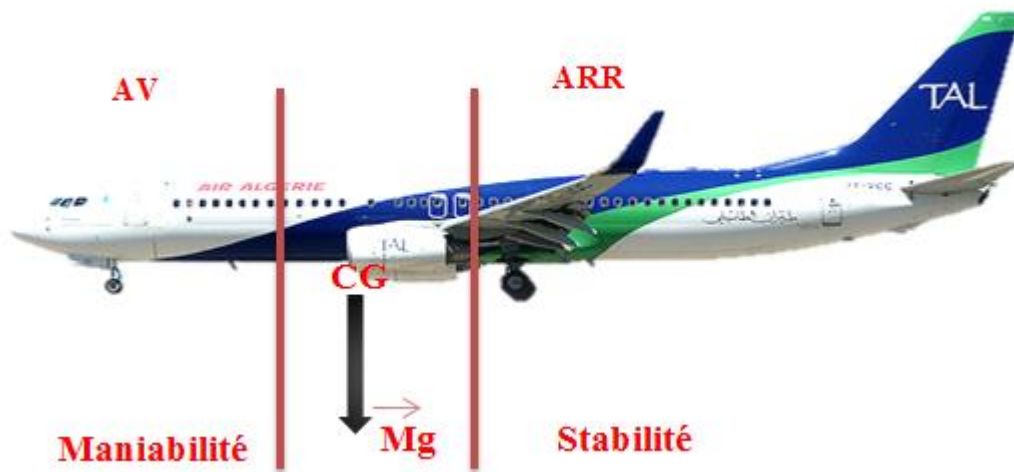


Figure 2.11 : Le centrage optimal

2.6.6 : La route choisie avec les distances parcourues :

Le choix de la route et de la piste destinée au décollage peut y être d'une importante influence sur la consommation, regroupées dans un semestre ou année va engendrer des sommes considérables (perdus ou gagnés) tout dépend des choix à faire pour la réalisation de l'étape. [02]

Définir les différentes routes que nous pourrons suivre en fonction des conditions météorologiques, ainsi que les taxes de survol, qui ont une influence directe sur l'exploitation, serait une économie faramineuse de plus pour chaque vol.

Le choix de la piste au décollage peut s'avérer un point très important dans l'évolution de vol, car une piste bien choisit peut faire gagner beaucoup de temps, carburant pour une compagnie aérienne, que ce soit pour le roulage au sol, ou bien l'évolution dans l'air. [07]

2.6.7: Les conditions météorologiques

a. La température:

La température a une impacte importante sur le vol tout entier, vue la relation directe entre le fonctionnement des moteurs avec son rendement directe, et son impact sur les masses de l'avion, et le carburant a charger ainsi que la charge offerte : si la

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

température augmente, on aura la poussée qui diminue, alors soit obligation de gagner plus de vitesse avec l'action de pousser plus la manette des gazes, ce qui nous coûtera d'avantage de carburant, soit de réduire totalement les masses de l'avion (alléger un peu l'aéronef).

Exemple : Pour chaque degrés calculs au-dessus de ISA, il y'a une correction fuel qui est faite, elle est calculée ainsi, pour les avions A318, A319, A320 et A321 :

$$\Delta \text{Fuel} = 0.015 (\text{KG}^0 \text{C/NM}) * \Delta \text{ISA} (\text{°C}) * \text{DISTANCE EN AIR (NM)}. [03]$$

b. Le vent :

Le vent est un paramètre fortement important dans le vol, il peut être favorable s'il est vent arrière, il peut être défavorable si il est vent de face, l'avion a besoin de plus de puissance pour avancer, ce qui engendre une surconsommation, tout a fait le contraire quand le vent est favorable car l'avion consomme moins. [02]

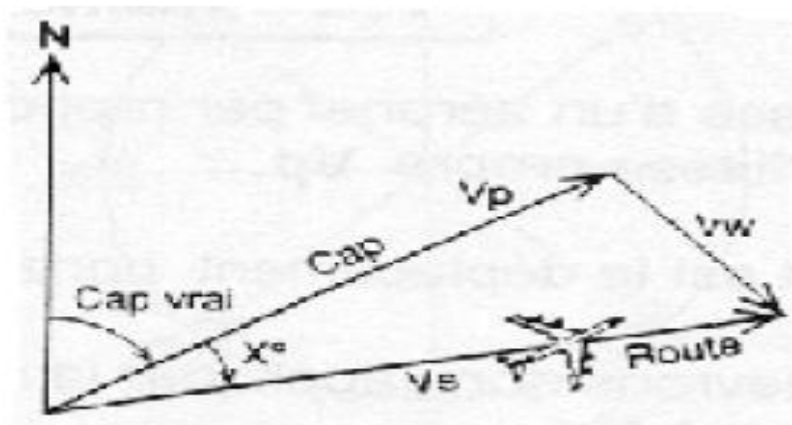


Figure 2.12 : Le triangle des vitesses.



VW : est la vitesse du vent.

Il faut noter que le vent souffle toujours du cap vers la route ;

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

2.6.8 : Les paramètres moteurs

Sans négliger l'aspect économique ou environnemental, la puissance utilisée a une influence sur la consommation de carburant.

a. Les moteurs principaux :

Nous pouvons trouver dans des compagnies aériennes des avions équipés de turbopropulseurs ou de turboréacteurs, ces avions peuvent être bimoteurs, trimoteurs ou quadri moteurs, tout dépend des fonctions, des utilités, des étapes réalisées par des avions et des challenges économiques aussi.

Pour le contrôle de la consommation des moteurs ainsi que leurs sensibilités au facteur « dégradation », on doit mettre en service des systèmes de suivi de performances pour la mesure des consommations réelles de ces moteurs car il est bien sûr qu'au fil des années la consommation du carburant augmente, facteur du a plusieurs paramètres par exemple : la combustion qui s'éloigne de l'excellence et par conséquent des mélanges non brûlés causant une certaine lenteur dans les régimes de vol, en suite le pilote pousse encore plus la manette des gazes pour être dans les normes de vitesses, ensuite on aura comme résultat une sur consommation. Donc le but principale de déterminer la consommation réelle pour un avion avec des moteurs donnés, c'est de déterminer avec exactitude le carburant à emporter, car des situations d'imprévu peuvent survenir lors d'un vol (low fuel).

En pratique chaque avion est légèrement un peut loin de la consommation fixée par le constructeur, mais le surplus du carburant embarqué certes va nous assurer une sécurité vis-à-vis le risque de panne de fuel, mais les données économiques vont être atteintes car des fois on a un excès de surplus (fuel qui ne sert a rien) qui va faire perdre de l'argent pour la compagnie aérienne donc c'est pour cela il faut rappeler toujours a Controller a consommation réelle pour ne pas être très loin d'un éventuel surplus.

Lors d'une panne survenue dans un avion pour un moteur (engin efailure), il est recommandé d'opter immédiatement pour le régime maxi range afin d'optimiser en distance tout en contrôlant la consommation.[15]

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

b. consommation de l'APU :

L'unité auxiliaire peut s'avérer très importante en vol, elle présente un rendement technique de 45% pour une consommation de 0.65KG/KWH.

L'APU est utilisé pour la production du courant électrique, l'air conditionné ainsi que le dégivrage.[15]

- La consommation au sol :

Tableau 2.5 : La consommation de l'APU en vol d'un B737-800

Modèle	Sans charge	Charge électrique et pneumatique KG/h.
B737	68	105

- La consommation en vol :

L'utilisation excessive de l'APU est due a :

- GPU non disponible ;
- Non disponibilité d'équipement d'air conditionné au sol ;
- Manque de personnel au sol a fin de brancher les équipements au sol ;
- Des avions laissés avec leur APU en marche ;
- Le tractage excessif de l'aéronef en utilisant l'APU ;
- Un aéronef branché au GPU, avec un APU mis en marche ;
- La préférence de l'utilisation de l'APU.
- L'utilisation de l'APU dans certains cas ou il n ya pas de nécessité en vol, au décollage et au roulage ;
- Le remplacement de l'alternateur par l'APU en cas de panne du premier.[15]

2.6.9 : La contrainte aérodynamique trainée :

Les inégalités des surfaces extérieure d'un avion se traduisent par une augmentation de la trainée et de la consommation du carburant .Un programme d'inspections régulières des surfaces extérieures des avions devrait être mis en point, afin de repérer et de corriger les défauts de surface comme peinture écaillée, égratignures et joints endommagés. Des inspections portant sur la trainée aérodynamique doivent être ajoutées aux vérifications de type A que subit l'ensemble des avions, une fois toutes les quatre semaines par nombre d'heure de vol.

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

- Point d'application : centre de poussée ;
 - Direction : parallèle à l'écoulement de l'air ;
 - Sens : du bord d'attaque au bord de fuite ;
- Intensité : $F_x = \frac{1}{2} \rho z \cdot V_p^2 \cdot S \cdot C_x$

Les types de trainées :

- De forme.
- De frottement.
- Induite : la formule de la trainée est : $C_x = \frac{C_x \cdot C_x}{\pi \cdot \lambda}$ (elle sera plus importante, avec l'augmentation de C_z et aussi l'allongement λ quand il est faible.

En résumé :

$$C_x \text{ totale} = C_x \text{ forme} + C_x \text{ frottement} + C_x \text{ induite.}$$

Les effets F_x sont proportionnels a :

- La pression (dynamique $\frac{1}{2} \rho z \cdot V_p^2$) ;
- La surface S ;
- Le coefficient aérodynamique C_x qui tient en considération : la forme, l'état de surface et l'incidence.[16]

2.7 : LES PERSONNES INFLUENTES SUR LA CONSOMMATION :

Certains choix faits par les services des opérations aériennes, l'équipage de conduite ou le personnel de maintenance peuvent influencer directement ou indirectement sur la consommation du carburant. Techniquement parlant : si un ingénieur des opérations aériennes décide de programmer un vol en réduisant d'un pourcent (1%) la masse maximale à l'atterrissage par exemple, on aura 0.75% pour les futures A350, de réduction de la consommation carburant (moteurs à taux dilution élevés), et 1% de réduction de carburant consommé (moteurs à faible taux dilution), et pour cela il est du devoir des opérations aériennes d'optimiser tout les paramètres opérationnels afin de réduire la consommations, Le pilote doit recommander de voler

Chapitre II : Généralités sur le carburant et les paramètres influents sur la consommation

en mode de gestion de carburant l'aide de FMS (flight management system) , en effet en volant selon cost index donné donc la possibilité de réaliser des économies de carburant .L'entretien des avions a pour but de maintenir en permanence les avions en état de navigabilité, c'est-à-dire entretenir leurs performances essentielles qui garde toujours une consommation standard. [02]

CHAPITRE III

3.1 : INTRODUCTION

L'économie de carburant consiste à gérer l'exploitation et l'état d'un avion afin de réduire au minimum le carburant utilisé à chaque vol Réduire

Réduire la consommation des avions est une nécessité absolue pour l'industrie aéronautique et une lutte sur tous les fronts.

3.2 : PROCEDURES OPERATIONNELLES VISANT A REDUIRE LA CONSOMMATION DE CARBURANT

3.2.1 : Masses et centrage

- ❖ -Un centrage plus à l'arrière ;
 - ❖ -La gestion automatique du centre de gravité, gestion du carburant par les calculateurs de bord ; [17]
- Eviter les surpoids inutiles

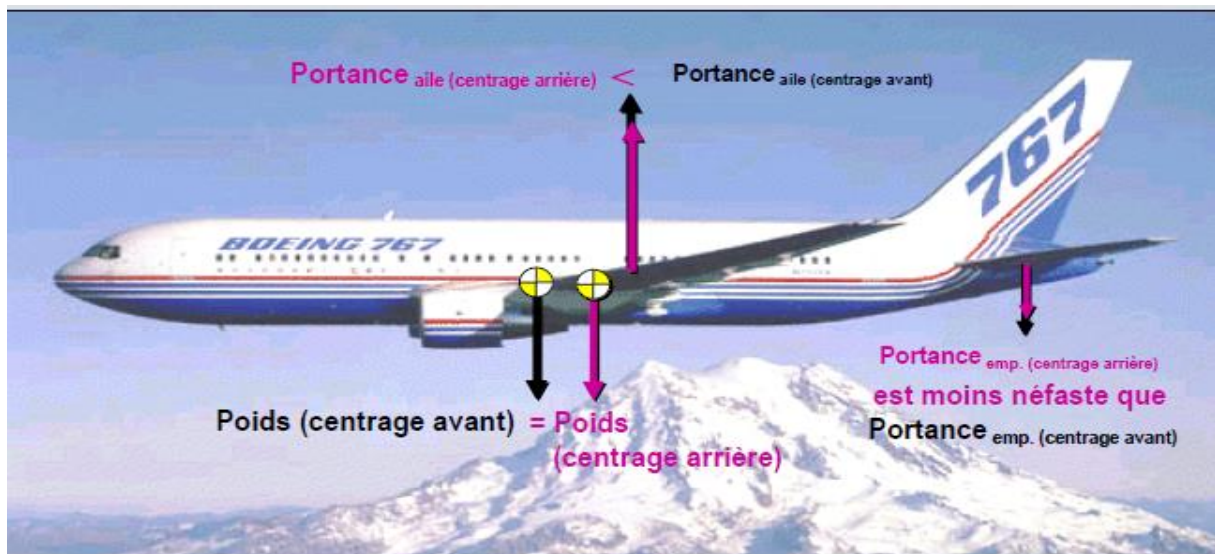


Figure 3. 1: Le centrage optimal

a. Le poids de l'avion

La réduction de la masse de base de l'avion conduit d'une manière à économiser plus de carburant et d'une autre manière à transporter plus de carburant pour exécuter une étape significative de vol.

Voici quelques techniques de réduction de la masse de base :

- ❖ Utilisation de matériaux de pointe (Matériaux composites, titane, plastique, etc.);

Chapitre III : Différentes Méthodes pour la réduction de la consommation carburant

- ❖ Avionique / Utilitaires intégrés (jumeler plusieurs boîtiers d'avionique) ;
- ❖ Intégration des systèmes (aéronef plus « électrique », génératrices ;
- ❖ Intégrées au moteur, générateurs-démarrateurs ;
- ❖ Utilisation de tapis légers;
- ❖ Utilisation de peinture sans chromate ;
- ❖ Minimiser l'emport de l'eau potable notamment vers les escales;
- ❖ Matériel catering choisi plus léger (trolleys, armoires...) ;[02]

Evaluer l'utilité des outils et pièces de rechanges (Roues + outils) transportés

3.2.2 : Planification de vol

- ❖ Avoir des données de bonne précision, a probabilité d'exactitude élevée, en l'occurrence : La température, vent, le poids de l'avion, la charge utile, carburant embarqué...etc. ;
- ❖ Optimisation des vitesses et des niveaux de vols
- ❖ Critères économiques des exploitants.
- ❖ Choisir la route la plus directe possible en tenant compte des effets du vent
- ❖ Un « grand cercle » est la plus courte distance au sol entre 2 points à la surface de la Terre
- ❖ Optimisation des routes aériennes, tout en répondant aux exigences de l'ATC, et aux
- ❖ Un grand cercle peut ne pas être la plus courte distance en vol lorsqu'on tient compte des Vents. [02]

3.2.3 : Au Roulage :

- ❖ *Réduire l'Utilisation de l'APU :*
 - Démarrer l'APU 10 minutes avant le départ ;
 - L'arrêt de l'APU 5 minutes après l'arrivée à la porte.
 - Démarrer l'APU avant d'arriver à la porte pour un arrêt moteur immédiat ;[02]
- ❖ *Prendre la route la plus courte possible*
- ❖ *Utiliser une poussée minimale et freiner le moins possible*
- ❖ *Les contrats de manœuvres au sol doivent préciser :[17]*
 - Le besoin d'un soutien total au sol
 - Les pénalités financières pour non-conformité

- Circulation au sol sur un moteur ;
- Un moteur à un réglage de puissance plus élevé consomme moins que deux moteurs pour la même poussée

3.2.4 : La conduite de vol :

a. Réglage des volets :

Choisir le réglage des volets le plus faible, mais qui respecte les exigences de performance :

- Moins de traînée
- Meilleures performances de montée
- Moins de temps passé à basse altitude, moins grande consommation de carburant
- Volet décollage : Le réglage le plus bas des volets/becs de bord d'attaque (volet zéro)
- donnera la plus faible consommation de carburant et le meilleur profil de vol. D'autres
- priorités, comme maximiser la masse au décollage etc., peuvent nécessiter d'autres
- réglages des volets ;
- Altitude d'accélération décollage : L'altitude d'accélération minimum requise par les
- règlements optimisera la consommation de carburant.[17]

b. La montée :

Meilleures performances de montées l'influence des volets sur le vol en montée c'est que pendant la phase de décollage, un braquage de volet faible va diminuer la vitesse de décollage et par conséquent la distance de décollage pour assurer l'économie carburant en diminuant la consommation.[02]

Par contre la pente maximale de montée se fait à l'incidence de finesse maximale, or tous braquages de volets diminuent la finesse maximale donc la sortie des volets diminue la pente maximale. Pour cela un système appelé l'ADHF (Adaptive Dropped Hinge Flap) qui permet un réglage différentiel des volets inférieurs et extérieurs dont ces volets peuvent avoir automatiquement un réglage différentiel dans la configuration

Chapitre III : Différentes Méthodes pour la réduction de la consommation carburant

décollage et croisière. Pour étudier ce système un Airbus A350 XMB a été choisi pour cette expérience cela nécessite sept spoilers, deux pour le volet intérieur et cinq pour le volet extérieur sont actionnés et contrôlés individuellement. [02]

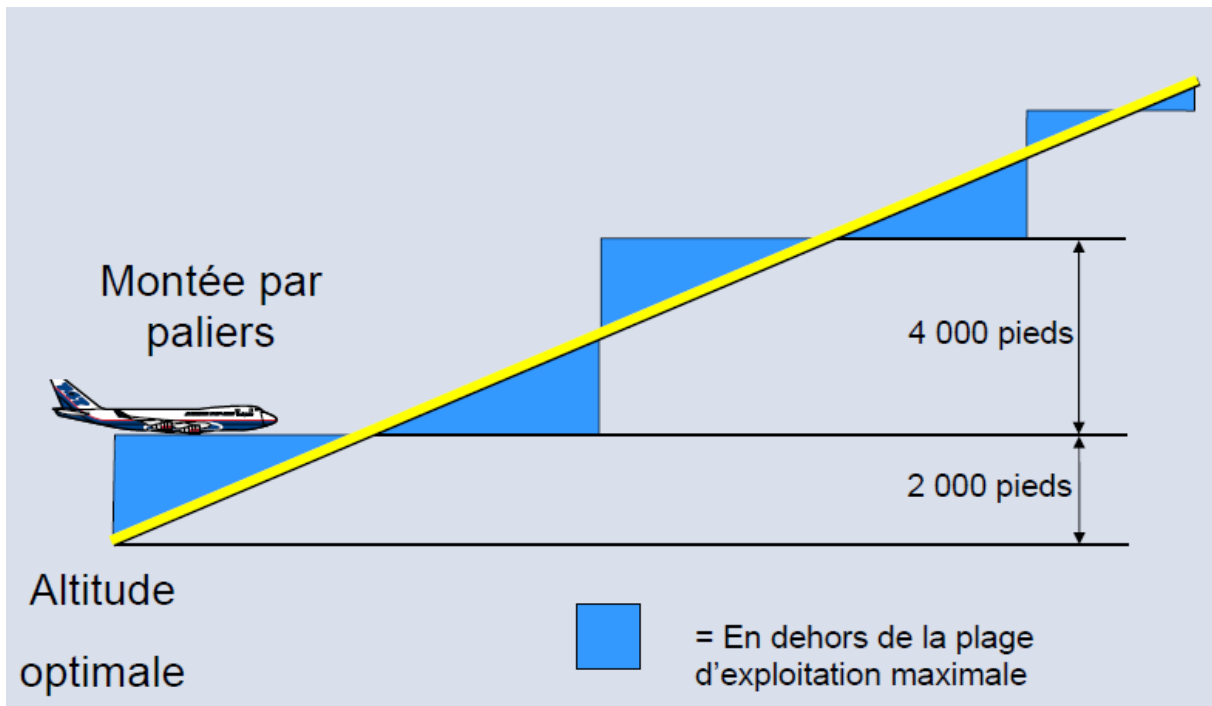


Figure 3. 2: Montée par paliers

Tableau 3. 1 : La consommation des AIRBUS en fonction de vitesse dans la montée.

Aircraft	Climb Mach No.	Δ Fuel – kg				
		270KT	280 KT	300 KT	320 KT	330 KT
A300	0.78	+40	+15	0	+5	+10
A310	0.79		+5	0	+5	+15
A318/A319/A320	0.78		-15	0	+30	+70
A321	0.78		-10	0	+25	+60
A330	0.80	+15	+5	0	+20	+35
A340-200	0.78	+45	+20	0	+10	+25
A340-300	0.78	+105	+50	0	-5	+20
A340-500/600	0.82		+135	0	-5	-10

c. Vol de croisière :

Le vol de croisière est la phase la plus importante en termes d'économie de carburant. On peut optimiser l'efficacité énergétique pendant le vol de croisière : Vol de croisière avec montée par paliers (Lorsque l'ATC l'autorise, la montée par paliers permet de rester près de l'altitude optimale), ou vol de croisière à vitesse économique,

selon un $(C.I. = \frac{\text{Coût temps}}{\text{Coût carburant}})$ donné. [05]

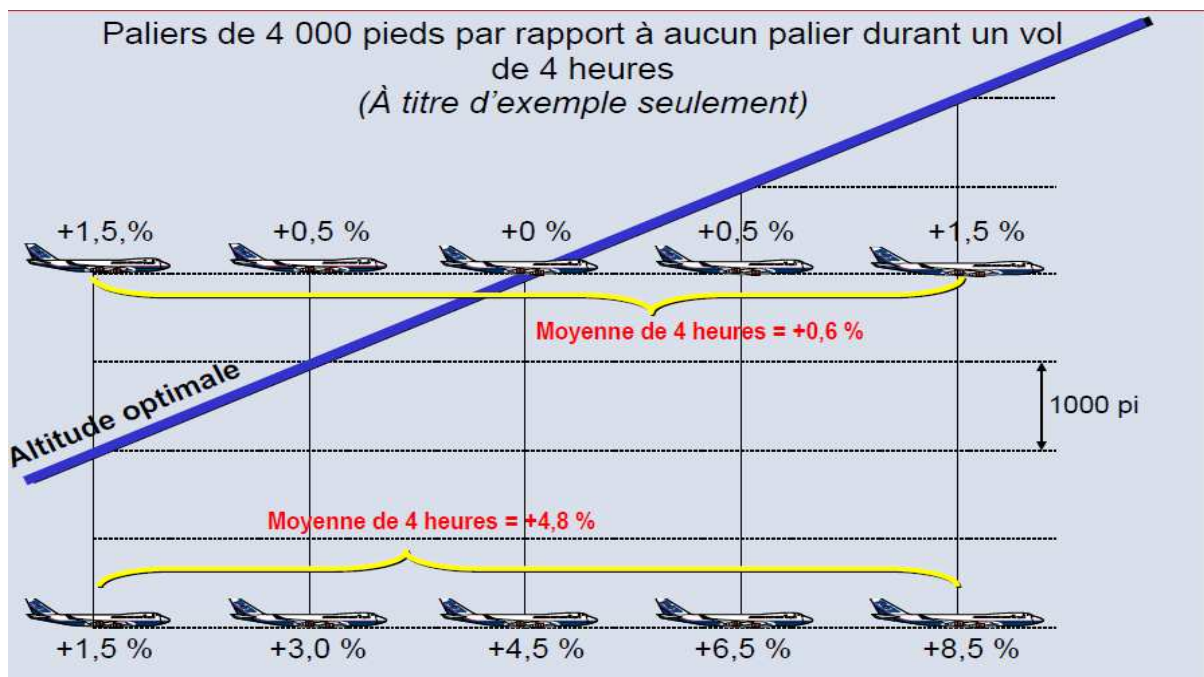


Figure 3.3: Pénalité de consommation de carburant en dehors de la plage d'exploitation maximale

d. Le niveau de vol

En altitude, l'air est moins dense, il y a moins de traînée (moins de frottement) et donc on a aussi besoin de moins de puissance générée par les moteurs ce qui permet à l'avion d'aller plus vite pour une même vitesse affichée. Au final, on est donc gagnant une consommation. Cependant il existe une limite haute qui empêche les avions de monter au-delà d'une certaine altitude

La phase de croisière est en principe la partie la plus longue d'un vol. Les performances de l'avion sont donc optimisées pour cette phase, le pilote choisit son altitude de croisière en

Chapitre III : Différentes Méthodes pour la réduction de la consommation carburant

fonction des performances de l'avion, de la durée de la croisière (les temps de montée et de descente ne sont pas négligeable).[02]

Il existe des contraintes qui influent sur le choix d'altitude de croisière qui ne sont pas lié à la capacité d'avion, comme les exigences de l'ATC et les affectations de niveau de vol

e. Descente :

La consommation de carburant est la plus basse lorsque : l'indice de coût est bas, la vitesse est basse, l'angle de la trajectoire de descente est peu prononcé, la distance de descente est plus longue, le temps de descente est plus long et le point de début de descente (TOD) est plus hâtif, Le FMS calcule la TOD en fonction de l'indice de coûts.[02]

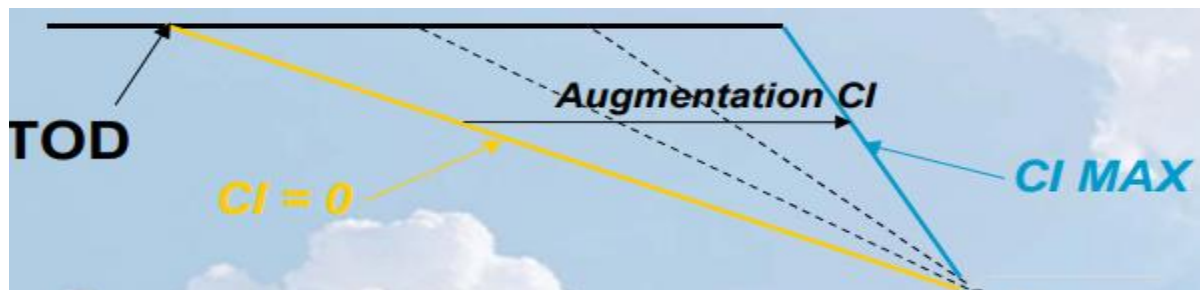
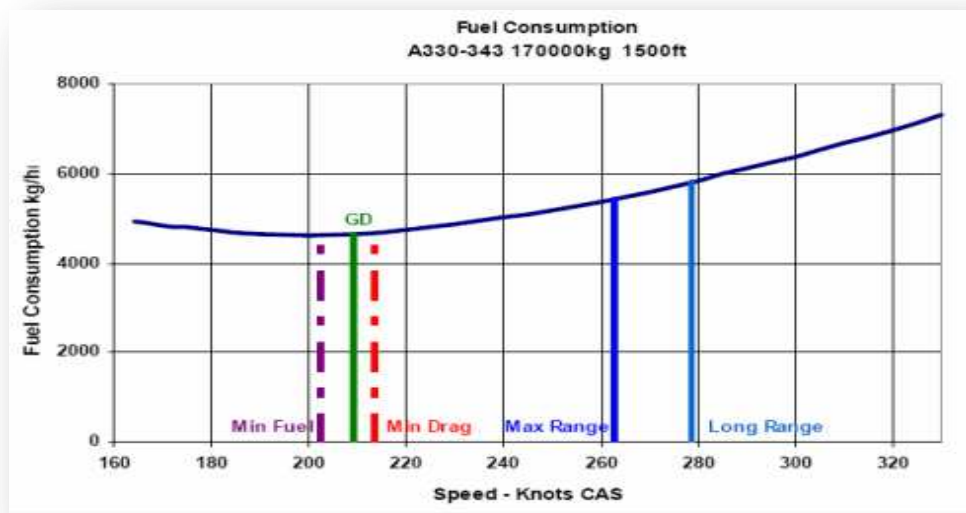


Figure 3. 4:La consommation en descente

f. Attente :



L

f

Figure3.5 : La variation de la consommation carburant en fonction de vitesse

Chapitre III : Différentes Méthodes pour la réduction de la consommation carburant

Point verte a vitesse point vert est la vitesse d'exploitation avec un ou deux moteurs à l'arrêt en configuration lisse; comme cette vitesse correspond approximativement à la plus grande finesse aérodynamique, c'est également la vitesse qui offre la plus faible consommation de carburant ;[02]

g. Approche:

- Demeurer dans la bonne configuration aussi longtemps que possible, retarder la sélection des embrayages. Une approche de descente continue permet d'économiser du carburant. Une approche visuelle dans la direction du vent permet d'économiser du carburant, toutefois, il ne faut pas négliger la philosophie de l'approche stabilisée
- utilise 15 à 380 lb de carburant moins que dans l'approche standard avec le réglage des mêmes volets.
- Les économies de carburant liées à la sortie des volets retardée
Selon le réglage des volets et le modèle d'avion, l'approche avec sortie des volets retardés

Volets d'atterrissage:

Le réglage de volet le moins élevé fera économiser du carburant. ,, Il faut toutefois tenir compte de la longueur de la piste, du point de sortie, temps d'occupation (occupancy time), des conditions de la surface de la piste, du vent arrière, du refroidissement des freins, des atterrissages Cat 2 ou 3, etc.[17]

Remarque :

- Pénalité en cas de descente hâtive – plus on passe de temps à basse altitude, plus on du carburant
- Le point de début de descente optimale dépend des vents, de l'ATC, des restrictions de vitesse, etc.
- Utiliser l'information fournie par le FMC
- Utiliser la poussée de ralenti (pas de descente à puissance partielle)

3.2.5 : Résumé des pratiques opérationnelles :

- Réduire au minimum la masse à l'atterrissage
- Ne pas transporter plus de carburant de réserve que nécessaire
- Charger l'avion en tenant compte du centrage arrière si possible
- Régler les volets au minimum requis
- Viser une altitude optimale (corrigée en fonction du vent)
- Viser le LRC (ou indice des coûts)
- Choisir la route la plus directe possible
- Réduire au minimum l'utilisation des moteurs et de l'APU au sol
- Rentrer les volets le plus tôt possible
- Évoluer aux vitesses de vol prévues à toutes les étapes du vol
- Utiliser les procédures de compensation appropriées
- Comprendre les systèmes de l'avion
- Comprendre les correspondances vent-altitude
- Ne pas commencer la descente trop tôt (ni trop tard)
- Ne pas passer trop tôt en configuration d'atterrissage. [17]

3.3 : REDUCTION DE LA RESERVE DE ROUTE

3.3.1 : La procédure "réserve de route réduite" par l'escale technique Facultative :

Pour minimiser l'emport de carburant sur une longue distance, le commandant de bord d'un avion peut choisir d'appliquer la méthode de l'escale technique facultative.

Il s'agit d'une procédure selon laquelle, à partir d'un point limite (point de décision) déterminé lors de la planification du vol, et compte tenu notamment des consommations réelles constatées au cours du vol, le commandant de bord peut décider soit de poursuivre vers sa destination avec ou sans dégagement, soit d'atterrir à l'ETF s'il ne peut pas respecter les réserves réglementaires à destination.[18]

Les textes européens imposent par défaut l'emport de 5% de carburant supplémentaire de contingence. Cependant, la procédure "réserve de route réduite" par destination d'avitaillement facultatif permet de ne pas calculer ces 5% sur l'ensemble du vol entre le départ et la destination commerciale voulue.[18]

a. D'un point de vue légal :

Si la politique de carburant de l'exploitant comprend une planification du vol avant le vol vers un

Aérodrome de destination 1 (destination commerciale) avec une procédure "réserve de route

Réduite" utilisant un point de décision sur la route et un aérodrome de destination 2 (destination

D'avitaillement facultatif), la quantité de carburant utilisable embarquée avant le départ est la

Plus grande des valeurs obtenues au point 2.1 ou au point 2.2 ci-dessous.[18]

➤ La somme1:

a) du carburant pour le roulage; et

b) du carburant d'étape nécessaire pour atteindre l'aérodrome de destination 1 en passant par le point de décision; et

c) de la réserve de route, à savoir pas moins de 5 % de la consommation estimée depuis le point de décision jusqu'à l'aérodrome de destination 1; et

d) du carburant de dégagement ...

e) de la réserve finale; et

f) du carburant additionnel; et

g) du carburant supplémentaire, à la demande du commandant de bord.[18]

➤ La somme2:

a) du carburant pour le roulage; et

b) du carburant d'étape nécessaire pour atteindre l'aérodrome de destination 2 en passant par le point de décision; et

c) de la réserve de route, à savoir pas moins que la quantité calculée conformément au point 1.3 ci-dessus (*pas moins de 5 % de la consommation d'étape ou, en cas de planification en vol, 5 % de la consommation prévue pour le reste du vol*) depuis l'aérodrome de départ jusqu'à l'aérodrome de destination 2; et

d) du carburant de dégagement, si un aérodrome de dégagement de destination 2 est requis; et

e) de la réserve finale et

f) du carburant additionnel; et

g) du carburant supplémentaire, à la demande du commandant de bord.[18]

Remarque :

- Si le commandant n'a pas besoin de réduire le carburant embarqué, il peut remplir un plan de vol direct car cela lui garantit qu'il peut légalement voler jusqu'à sa destination finale commerciale sans escale.
- S'il a besoin de gagner encore quelques tonnes, il peut envisager un plan de vol préparé selon la procédure "réserve de route réduite"

b. La procédure "réserve de route réduite" est-elle dangereuse ?

- Certains pilotes considèrent qu'il est dangereux de voler en ETF et refusent systématiquement de suivre un tel plan de vol. D'autres considèrent que la sûreté de l'aéronef n'est aucunement mise en jeu.

En fait, les uns et les autres ne parlent pas de la même chose.

Si l'on parle de destination commerciale il est clair que si les contraintes opérationnelles sont limitantes (vent inattendu, régulations ATC) un vol en ETF n'atteindra pas toujours sa destination commerciale. L'exemple ci-dessous l'illustre.

c. Procédure "réserve de route réduite" par la méthode 3 % ERA :

C'est une méthode efficace pour diminuer le carburant à bord est de choisir de déposer un plan de vol avec un aéroport de décollage en route 3 %.

Comme stipulé dans l'appendice 1 de l'OPS 1.255 le carburant de réserve de route doit représenter pas moins de 5 % de la consommation d'étape ou, en cas de replanification en vol, 5 % de la consommation prévue pour le reste du vol. Dans certaines circonstances, il est possible de réduire cette réserve de route à 3%. (Et de se contenter de cette réduction à 3% sans la combiner avec un plan de vol ETF).

Ceci est atteint avec la sélection d'un décollage en route spécifique appelé « 3% ERA ».[19]

Chapitre III : Différentes Méthodes pour la réduction de la consommation carburant

le commandant de bord doit inclure une réserve de route de pas moins de 3 % de la consommation d'étape ou, en cas de replanification en vol, 3 % de la consommation prévue pour le reste du vol, à condition qu'un aérodrome de dégagement en route soit accessible conformément à l'appendice 2 à l'OPS 1.255.

Appendice 2 à l'OPS 1.255

Localisation de l'aérodrome de dégagement en route 3 % aux fins de la réduction de la réserve de route à 3 % [voir l'appendice 1 à l'OPS 1.255 1.3) a) ii) et l'OPS 1.192].

L'aérodrome de dégagement en route 3 % est situé à l'intérieur d'un cercle dont le rayon est égal à

20 % de la distance totale du plan de vol et dont le centre se trouve sur l'itinéraire planifié à une distance par rapport à l'aérodrome de destination de 25 % de la distance totale du plan de vol ou, si cette valeur est supérieure, d'au moins 20 % de la distance totale du plan de vol plus 50 NM,[19]

Illustration 1

Localisation de l'aérodrome de dégagement en route 3 % aux fins de la réduction de la réserve de route à 3 %

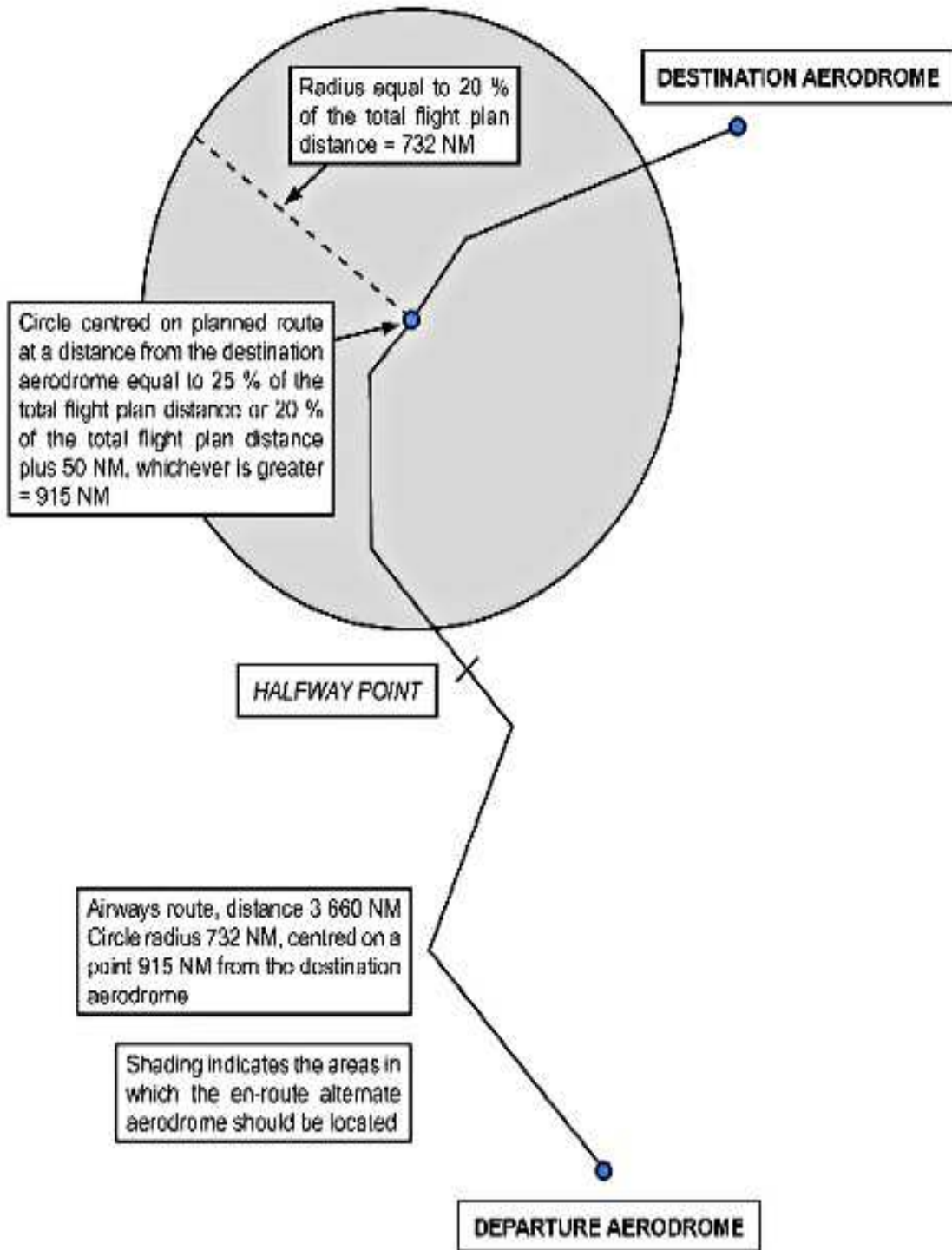


Figure 3.6: Exemple qui démontre Procédure "réserve de route réduite" par la méthode 3 % ERA

Chapitre III : Différentes Méthodes pour la réduction de la consommation carburant

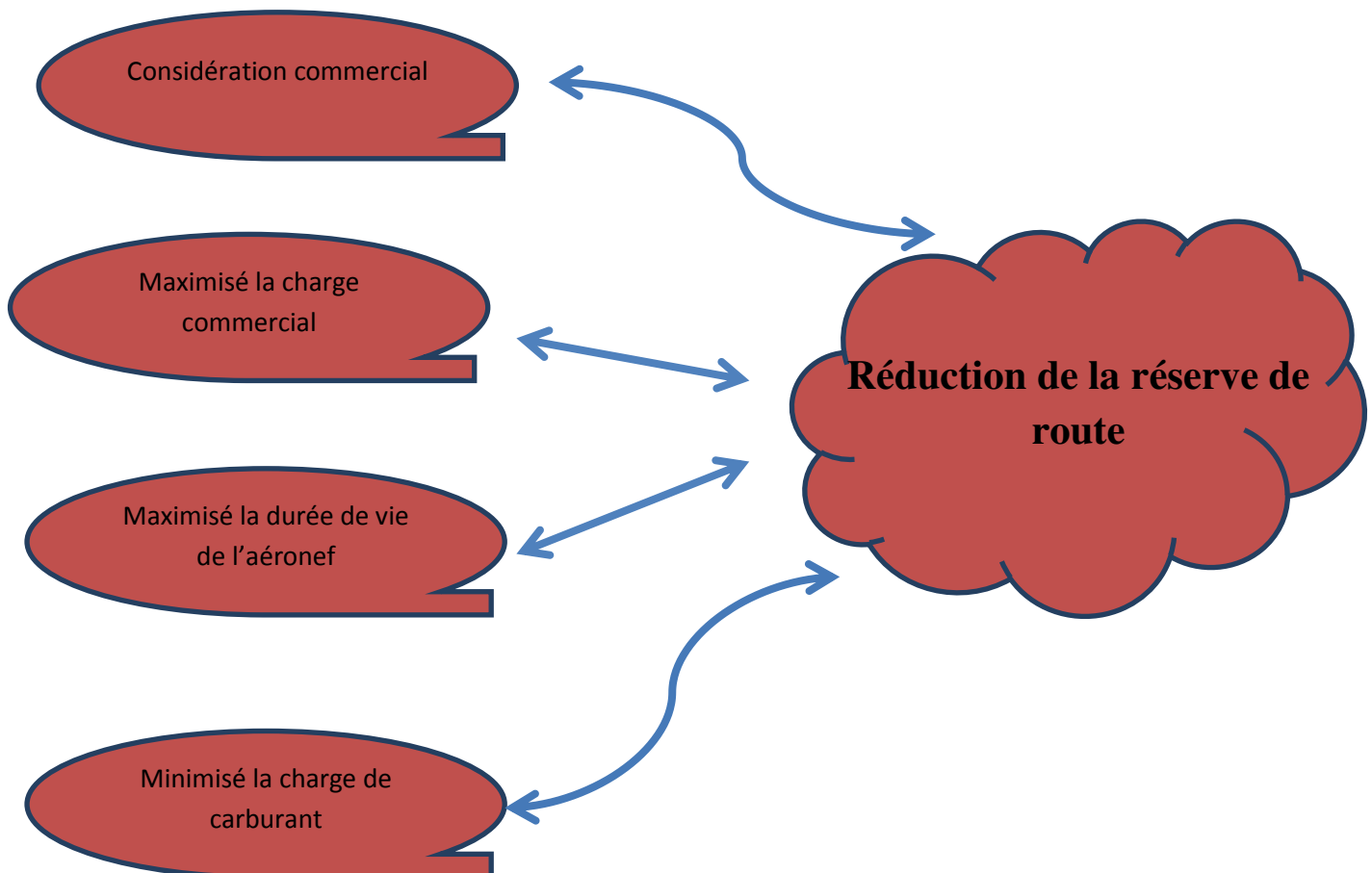
- Si le commandant a besoin de réduire sa masse de carburant (pour favoriser la masse commerciale ou pour rentrer dans les critères de performance au décollage), il peut commencer par considérer un plan de vol préparé selon la procédure “réserve de route réduite” avec un aérodrome de dégagement en route à 3 % .[18]

3.4 CONCLUSION :

Les couts liés au carburant exigent environ le 1/3 des dépenses compte tenu d'équipage, de maintenance de l'aéronef et du moteur, des redevances de navigation et d'atterrissage, ce qui oblige les compagnies aériennes d'économiser et de bien gérer la consommation du carburant toute en respectant les exigences opérationnelles (MTOW ,la charge offerte ...).

La somme de petites mesures et politiques d'économie de carburant se traduit par de grandes économies au niveau de la consommation de carburant .

La contribution de tous(opération aériennes, équipage de conduites, maintenance et gestion) est indispensables



CHAPITRE VI

Chapitre VI : Conception de l'application

4.1 Introduction

L'exploitation d'un nouvel appareil nécessite l'étude approfondie de toutes les performances pour le réseau de lignes des aéroports desservis par la compagnie. Pour cela, on se base sur les paramètres suivants :

- Consommation carburant
- Temps de vol
- Charge offerte
- Masse de décollage
- Limitations du jour

4.2 Choix des outils de conception

4.2.1 Langage de développement :

a. HTML /CSS :

pour la façon de présentation du document et le design de notre application on a utilisé les langages :

HTML (« HyperText Mark-up language ») langage de balisage,

Les balises permettent d'indiquer dont doivent être présentés le document et les liens qu'il établit avec d'autres documents.

CSS (« Cascading Style Sheets » :feuilles de style en cascade)
HTML structure la page , le CSS va la mettre en forme en Y apportant du style.[20]

B. Java script :

C'est un langage de programmation de scripts principalement employé dans les pages web interactives mais aussi pour les serveurs , c'est un langage Orienté objet a prototype. [20]

4.3 Outils de développement :

4.3.1 Définition de la base de données :

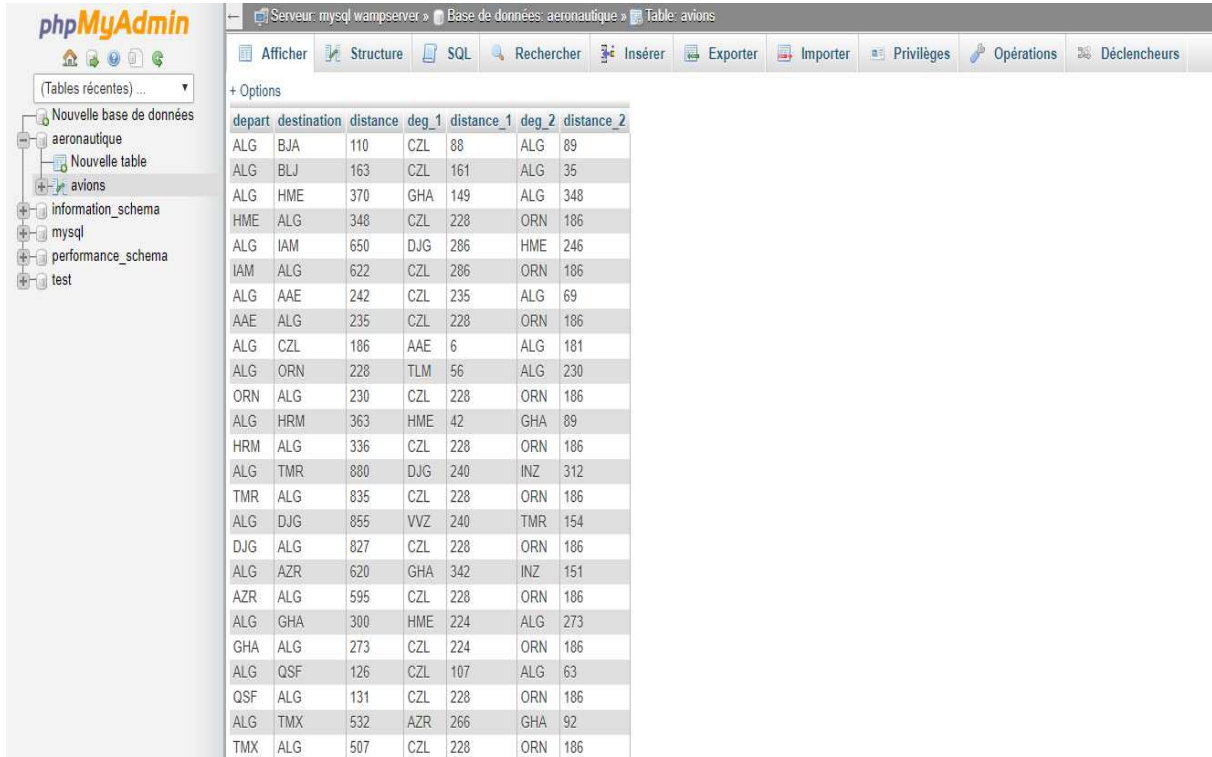
Une base de donnée est composée des données stockées dans des mémoires de masse sous une forme structurée, et accessible par des applications différentes , et des utilisateurs en même temps .

Chapitre VI : Conception de l'application

4.3.2 wampServer :

WampServer est une plateforme de développement sous Windows pour des applications dynamiques.

Il possède PHPMyAdmin pour gérer la base de données.[20]



depart	destination	distance	deg_1	distance_1	deg_2	distance_2
ALG	BJA	110	CZL	88	ALG	89
ALG	BLJ	163	CZL	161	ALG	35
ALG	HME	370	GHA	149	ALG	348
HME	ALG	348	CZL	228	ORN	186
ALG	IAM	650	DJG	286	HME	246
IAM	ALG	622	CZL	286	ORN	186
ALG	AAE	242	CZL	235	ALG	69
AAE	ALG	235	CZL	228	ORN	186
ALG	CZL	186	AAE	6	ALG	181
ALG	ORN	228	TLM	56	ALG	230
ORN	ALG	230	CZL	228	ORN	186
ALG	HRM	363	HME	42	GHA	89
HRM	ALG	336	CZL	228	ORN	186
ALG	TMR	880	DJG	240	INZ	312
TMR	ALG	835	CZL	228	ORN	186
ALG	DJG	855	VVZ	240	TMR	154
DJG	ALG	827	CZL	228	ORN	186
ALG	AZR	620	GHA	342	INZ	151
AZR	ALG	595	CZL	228	ORN	186
ALG	GHA	300	HME	224	ALG	273
GHA	ALG	273	CZL	224	ORN	186
ALG	QSF	126	CZL	107	ALG	63
QSF	ALG	131	CZL	228	ORN	186
ALG	TMX	532	AZR	266	GHA	92
TMX	ALG	507	CZL	228	ORN	186

Figure 4.1 base de données PHPMyAdmin

4.4 L'environnement de développement :

4.4.1 Cakephp :

un framework web libre écrit en PHP (model view controller) , facilite l'utilisation de base de donnée avec active record . [20]



Figure 4.2 logo de cakephp

Chapitre VI : Conception de l'application

4.4.2 Modele view controller :

Modèle MVC

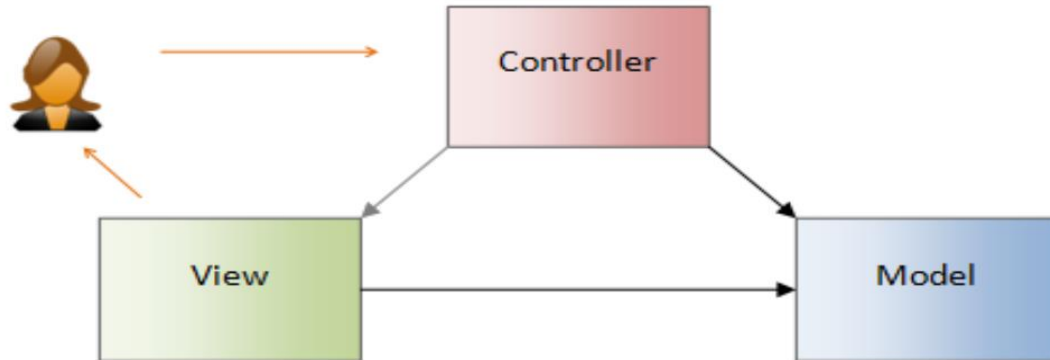


Figure 4. 3: modèle MVC

Le schéma est essentiellement un résumé graphique de ce qu'on devrait déjà savoir, Le flux d'événements dans l'application ressemble à ceci:

1. L'utilisateur effectue une action sur l'interface utilisateur
2. Ceci est capturé par le contrôleur
3. Le contrôleur décide comment réagir à l'action et modifie généralement certaines valeurs dans le modèle ou affecte directement View
4. La vue affiche les modifications apportées à l'utilisateur [20]

4.5 Calcul des quantités de carburant et le temps de vol à partir de l'FPPM (FLIGHT PLANING PERFORMANCE MANUEL)de b737-800:

4.5.1 Introduction

Avant de commencer à construire notre logiciel il a fallu de définir les procédures qu'elle va effectuer pour la détermination des quantités de carburant et le temps de vol. Pour cela, on prenant l'FPPM de B737-800 comme référence, nous avons essayé de définir l'enchaînement des taches qui devraient être appliquées manuellement sous forme de logigrammes.[21]

Chapitre VI : Conception de l'application

Toutes les données sont représentées dans l'FPPM sous forme des graphes.

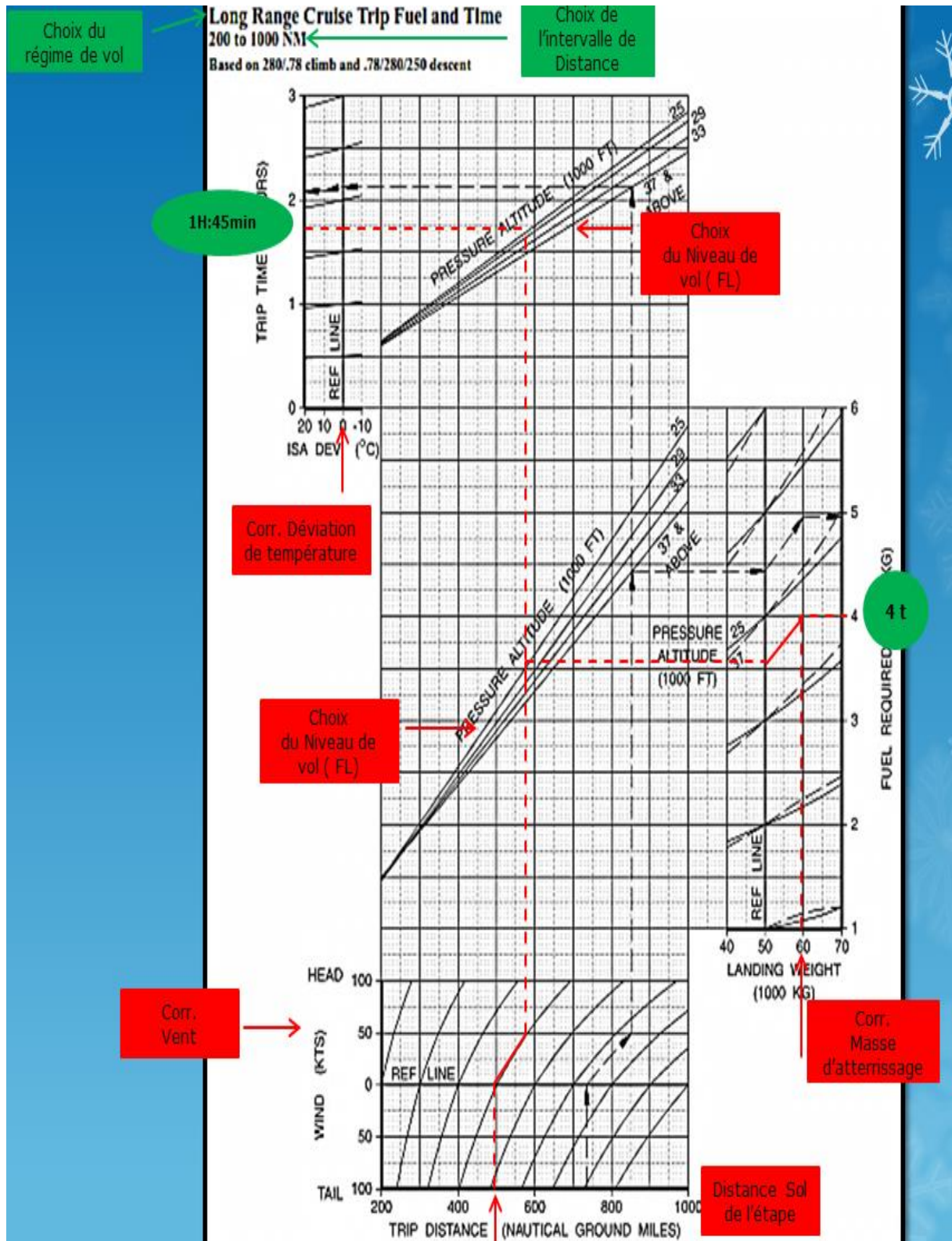


Figure 4.4 : schéma explicative montrant les calculs à faire pour déterminer la quantité de carburant nécessaire pour une étape ainsi le temps de vol selon le constructeur

Chapitre VI : Conception de l'application

4.5.2 Calcul de quantité de carburant :

a. Les entrées de l'application

Afin de calculer les performances de l'avion, la manipulation de plusieurs entrées est nécessaire et parmi ces entrées on trouve celle des aéroports. Le choix d'un aéroport de départ, d'un aéroport de destination et d'un aéroport de décollage est obligatoire. C'est pour cette raison qu'on a mis en place un élément majeur dans cette partie du calcul des performances qui est la gestion de la base de données aéroports.

Dans ce segment on pourra consulter la base de données aéroports; modifier les données d'un aéroport et même l'ajout d'un nouvel aéroport sera possible.

Les entrées sont:

- L'aéroport de décollage;
- L'aéroport de destination;
- L'aéroport de décollage;
- La distance de l'aéroport de décollage.

4.5.2 Déroulement des calculs

a. Calcul de la distance

Quelle que soit la distance à calculer (étape ou décollage) la procédure est la même, Le calcul de cette distance entre deux aéroports, nécessite la connaissance des coordonnées géographiques de ces derniers. Ces coordonnées sont obtenues à partir du choix des aéroports effectué par l'utilisateur, ce qui entraîne une interrogation dans la base de données aéroports. La distance calculée est une distance orthodromique.

b. La distance orthodromique

Points sont repérés sur le globe par leurs coordonnées géographiques, c'est à dire leurs latitudes et leurs longitudes. Soit M la longueur de l'orthodromie exprimée en « NM » entre A et B ; où ρ désigne la latitude et λ La longitude, elles sont exprimées en « Rad ». [05]

$$M = \text{Sin}^{-1} ((\text{Sin } \rho_A * \text{Sin } \rho_B) + (\text{Cos } \lambda_A * \text{Cos } \lambda_B * \text{Cos } (\lambda_B - \lambda_A))) * \left(\frac{180}{\pi} * 60 \right)$$

Chapitre VI : Conception de l'application

c. alcul de la distance air

Identique au calcul de la distance sol, la procédure est exactement la même pour la distance air étape et la distance air dégagement. Les entrées sont la distance sol et la force du vent. Après faire un choix sur l'équation qui correspond aux entrées, et interpolation linéaire (s'il y a lieu de la faire), la sortie sera la distance air étape ou bien la distance air dégagement. [05]

d. Calcul de réserve finale

Pour la réserve finale nous allons considérer une attente à 1500ft verticale dégagement pendant 30min ou au-dessus de l'aérodrome de destination si l'aérodrome de dégagement n'est pas exigé. Il y aura qu'une seule entrée qui sera la masse d'atterrissage et qui sera égale à MSC. Après faire un choix sur l'équation qui correspond aux entrées, et interpolation linéaire (s'il y a lieu de la faire), la sortie sera la réserve finale **RF**.

A présent tous les éléments sont disponibles pour le calcul de la masse d'atterrissage au dégagement: $M_{att\ Dégagement} = MSC + RF$

e. Calcul de la réserve de dégagement et du temps de vol dégagement

Les entrées sont la distance air dégagement, le niveau de vol et la masse d'atterrissage prévue en dégagement; qui est $M_{att\ Dégagement}$.

Après faire un choix sur l'équation qui correspond aux entrées, et interpolation linéaire (s'il y a lieu de la faire), il y a lieu de procéder à une correction de la consommation carburant qui est facteur de la masse d'atterrissage.

Les sorties seront la réserve de dégagement **RD**. [05]

A présent tous les éléments sont disponibles pour le calcul de la masse d'atterrissage au dégagement: $M_{att\ Destination} = MSC + RF + RD$

Chapitre VI : Conception de l'application

f. Calcul du délestage et du temps de vol étape

Les entrées seront la distance air étape, le niveau de vol et la masse d'atterrissage à destination $M_{att Destination}$. Après faire un choix sur l'équation qui correspond aux entrées, et interpolation linéaire (s'il y a lieu de la faire), Les sorties seront le délestage et le temps de vol étape.

g. Calcul de la réserve de route :

La réserve de route est égale à 5% ou bien 3% du délestage: $RR = d * (5/100)$, $RR = d * (3/100)$

h. Le roulage :

La quantité de carburant pour le roulage est égale à: $r = 15 \text{ Kg/min}$

Donc la quantité de carburant au lâcher des freins est: $Q_{lf} = d + RR + RD + RF$

La masse de décollage égale à : $M_{Dec} = MSC + Q_{lf}$

La charge Offerte égale à : $C/O = MSC - M_{Base}$

Dans ces logigrammes, on représente les étapes à suivre pour la détermination de la quantité de carburant et le temps de vol de l'étape.[18]

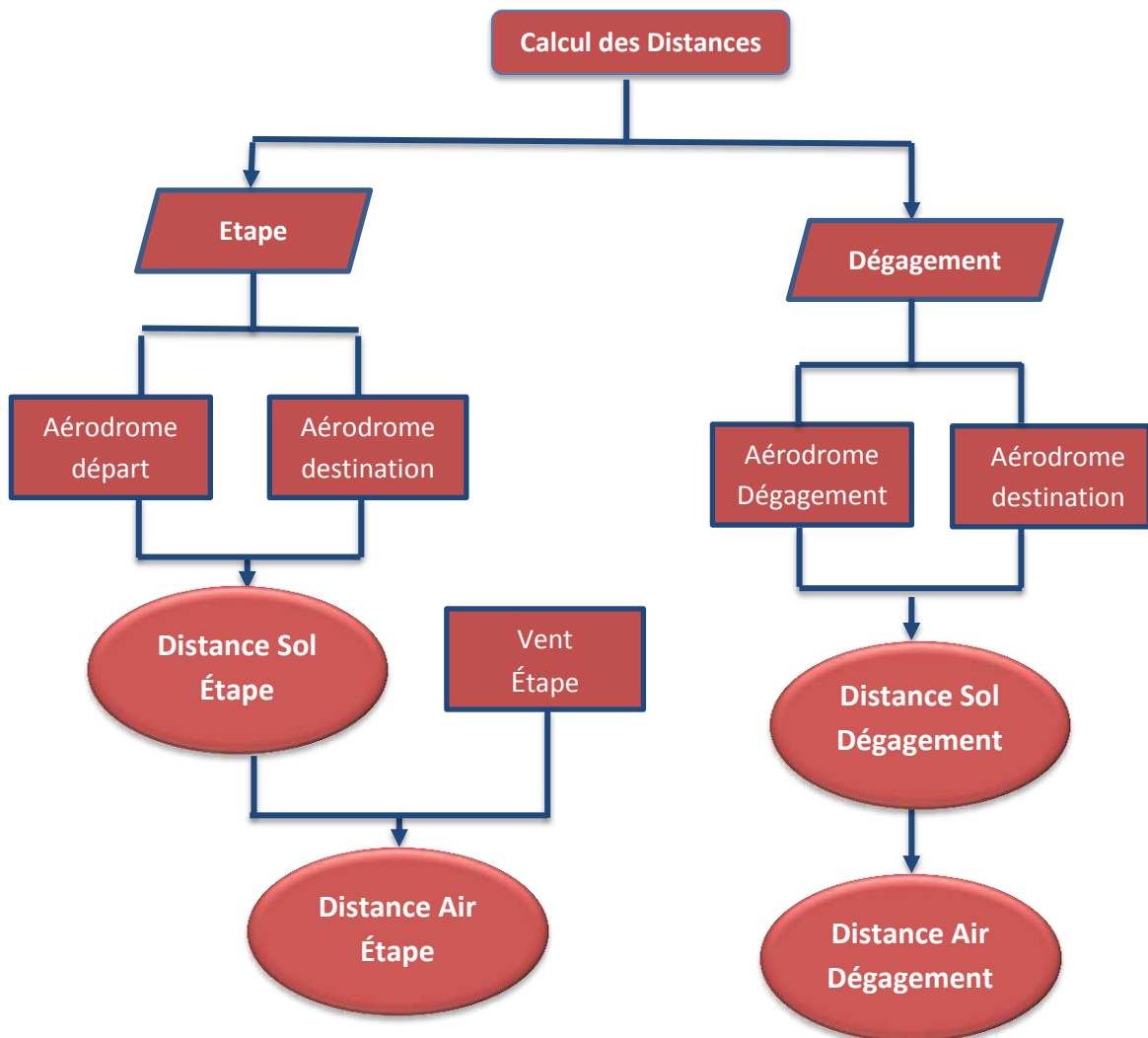


Figure4.5 : organigramme de calcul des distances.

Chapitre VI : Conception de l'application

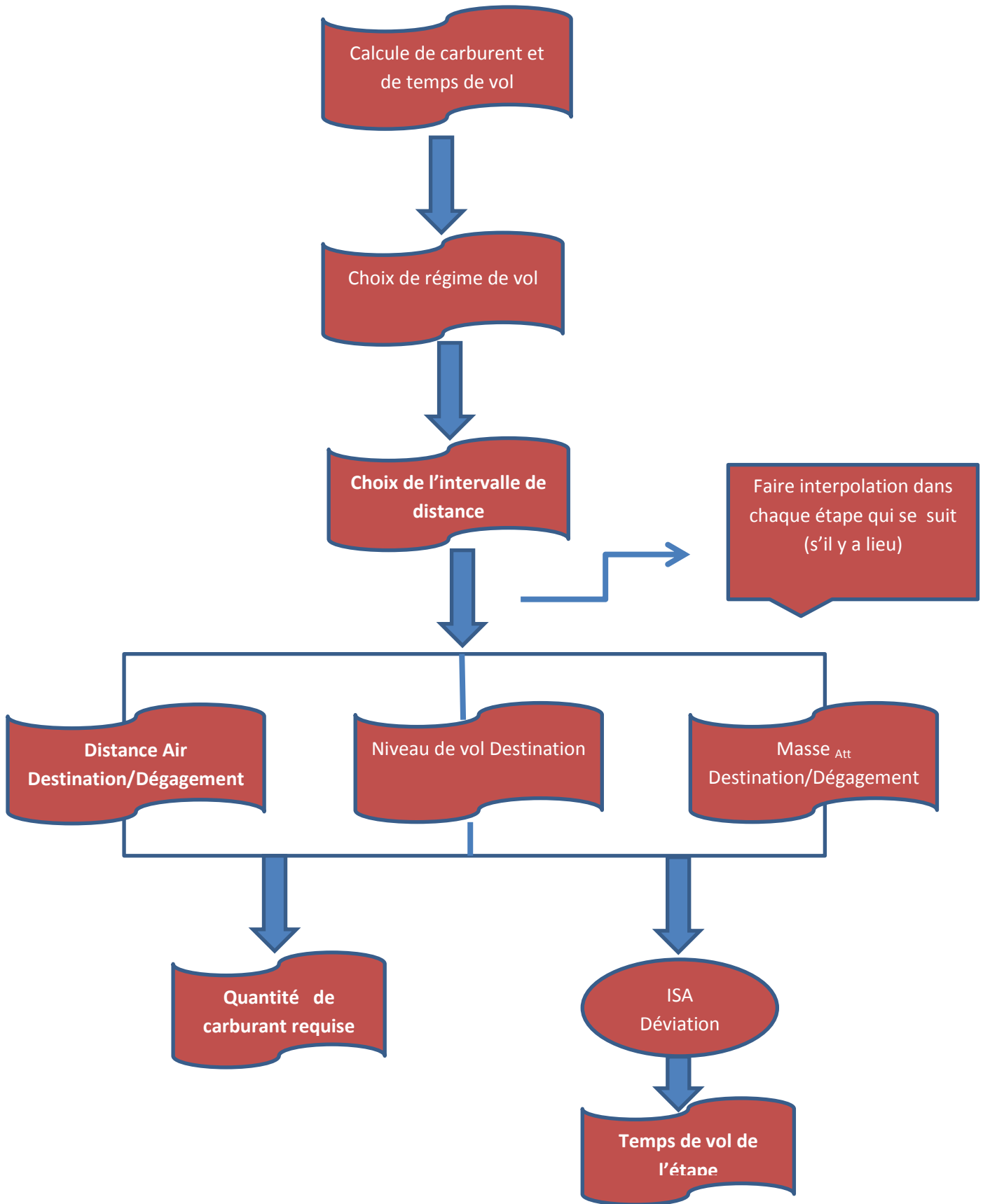


Figure 4.6: organigramme de calcul de quantité de carburant et le temps de vol de l'étape.

Chapitre VI : Conception de l'application

4.6 Chargement :

Après la définition des procédures qu'elle va effectuer pour la détermination des quantités de carburant et le temps de vol. On passe à la partie chargement et centrage de notre logiciel. Pour cela, on prenant l'AHM 560 de l'appareil B737-800W de Tassili Airlines comme référence, nous avons essayé de définir l'enchaînement des tâches qui devraient être appliquées manuellement.

Toutes les données sont représentées dans l'AHM 560 sous forme des tableaux.

Toutes les masses sont en Kilogrammes (KG).[05]

4.6.1 Présentation des masses forfaitaires passagers et bagages :

Pour déterminer la charge et le centrage, on a pris les masses forfaitaires utilisé par la compagnie Tassili Airlines qui sont regroupé dans le tableau suivant :

Tableau 4.1 : les masses forfaitaires passagères utilisées par la compagnie Tassili Airlines.

	Standard	Charter
Adulte homme	84	76
Adulte femme	84	76
Enfant	35	35
Bébé	0	0
Bagage cabine	6	6

4.6.2 Présentation des masses forfaitaires des personnels navigants :

Les masses des personnels navigants utilisés par la compagnie de Tassili Airlines sont regroupé dans le tableau suivant :

Chapitre VI : Conception de l'application

Tableau 4.2 : les masses forfaitaires PN utilisées par la compagnie Tassili Airlines.

	Standard	Homme	Femme
Cockpit	85	85	85
Cabine	75	75	75

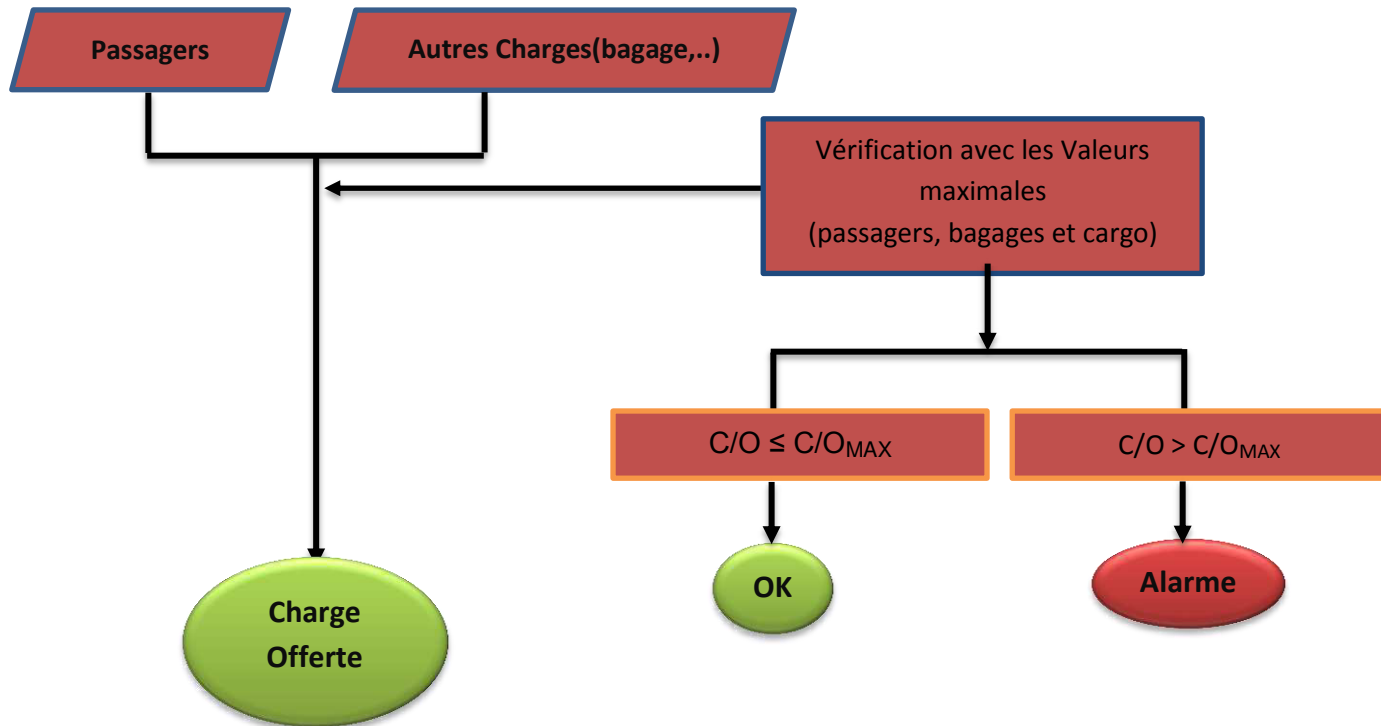


Figure 4.7 : Logigramme de calcul de la charge.

Dans notre cas la charge offerte sortis c'est une charge qui peut être utilisée pour augmenter la marge commerciale c'est-à-dire on peut prendre cette charge comme carburant pour réduire ou éliminer la quantité de carburant à acheter à l'aéroport de destination. Cependant, cette procédure est directement reliée à la consommation de carburant supplémentaire pour transporter cette charge qui n'entre certainement pas dans l'étape allé et bien sûr cette charge sera limitée par la capacité de réservoir, ou bien on peut utiliser cette charge pour transporter des marchandises.

4.7 Conclusion

Pour mieux gérer les vols, ainsi que mieux rentabiliser chaque phase de vol, la compagnie aérienne doit prendre en considération chaque facteur : minime ou majeur, en relation directe ou indirecte avec le vol ou la rentabilité et l'optimisation, afin d'améliorer de plus en plus le système des opérations ainsi que les gains enregistrés.

CHAPITRE V

Chapitre V:Présentation de l'application

5.1 L'interface graphique du Logiciel

Notre application sera représentée en langue française, L'interface graphique de notre application se résume à quelques pages qui permettent une certaine interactivité entre l'utilisateur et l'application Tout d'abord en l'exécutant on aperçoit un écran de démarrage sur lequel on doit appuyer sur le bouton« calculer »

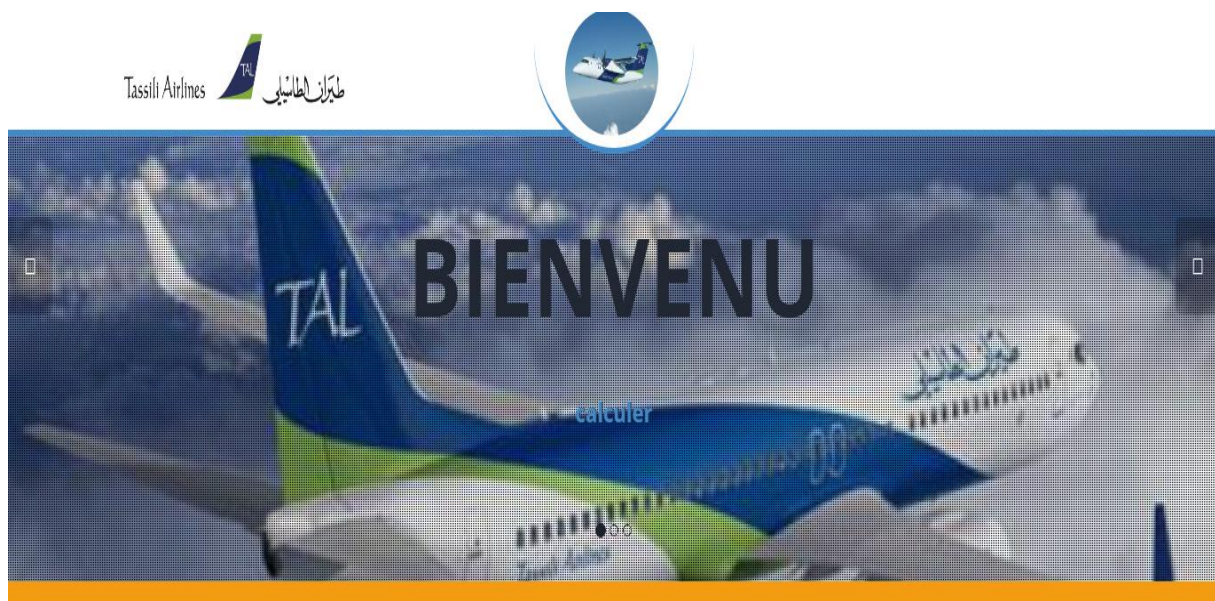


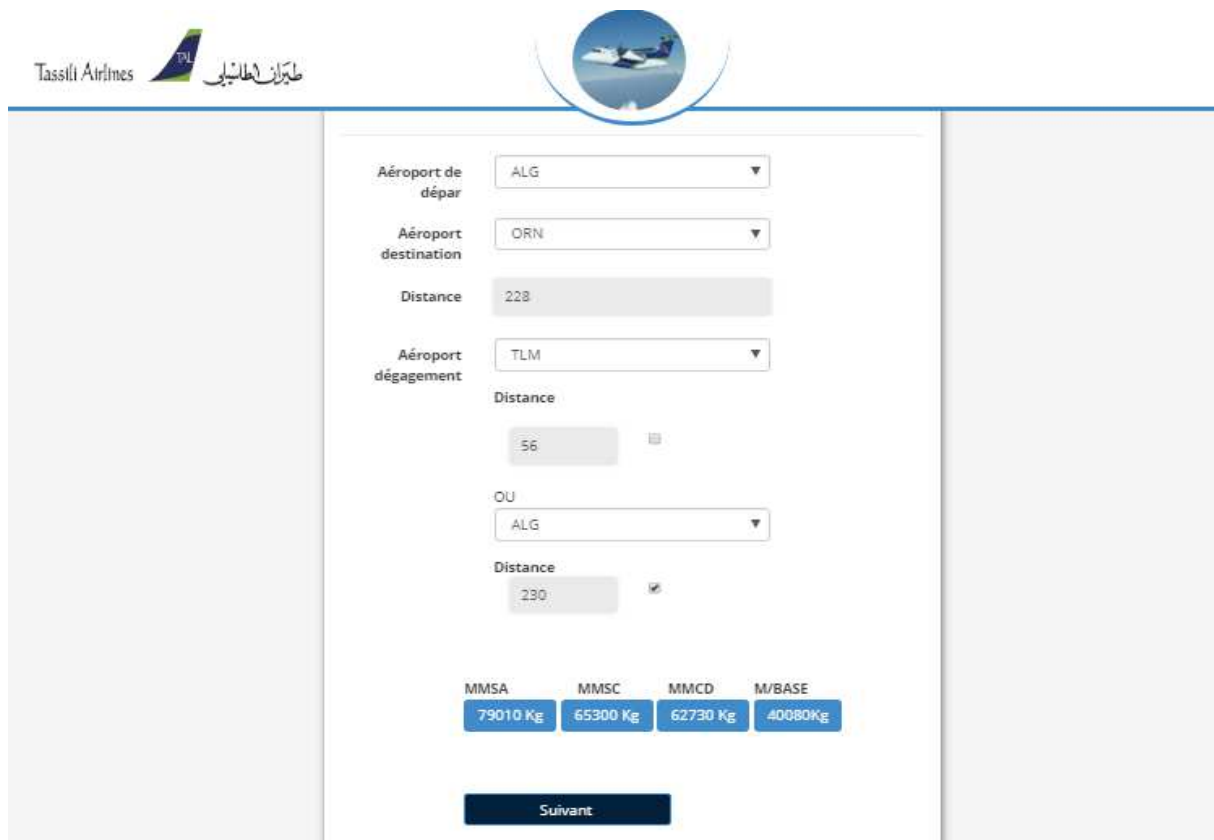
Figure 5.1 : Ecran d'accueil de l'application

5.1.1 Étape 1 « aéroports » :

Le deuxième onglet « Aéroports », nous permet de choisir l'aérodrome de départ, aérodrome de destination et deux différents aérodromes de dégagement, à partir d'une base de données.

Premièrement on doit choisir l'aéroport de départ et d'arriver la distance sera afficher automatiquement ainsi qu'on va trouver une liste des aéroports de dégagement correspondantes a notre trajectoire choisis et la distance de chaque dégagement.

Chapitre V:Présentation de l'application



The screenshot displays the Tassili Airlines application interface. At the top left is the logo for Tassili Airlines, featuring a stylized aircraft and the text 'Tassili Airlines' and 'طيران التاسيلي'. In the center is a circular image of a plane in flight. The main content area contains several input fields and buttons:

- Aéroport de départ:** A dropdown menu with 'ALG' selected.
- Aéroport destination:** A dropdown menu with 'ORN' selected.
- Distance:** A text input field containing '228'.
- Aéroport dégagement:** A dropdown menu with 'TLM' selected.
- Distance:** A text input field containing '56'.
- OU:** A dropdown menu with 'ALG' selected.
- Distance:** A text input field containing '230'.

Below these fields are four buttons representing different weight options:

MMSA	MMSC	MMCD	M/BASE
79010 Kg	65300 Kg	62730 Kg	40080Kg

At the bottom center is a dark blue button labeled 'Suivant'.

Figure 5.2 : Choix des aéroports et affichage des propriétés.

5.1.2 Étape de Configuration de vol :

Après appuyer sur le bouton suivant une fenêtre va nous permet de choisir la charge, en introduisant le nombre des passagers (adulte et enfant) et la masse cargo (bagages, ou autres). La charge totale sera affichée au-dessous de la fenêtre.

L'information des distances calculées précédemment (page « Aéroports ») sera affichée comme paramètre qui sert à calculer le carburant nécessaire et le temps de vol (avec une possibilité de modification).

Autres paramètres seront inclus pour le calcul de carburant et le temps de vol. Ces paramètres sont : le régime de vol, le niveau de vol, le vent, la déviation de température et le pourcentage pour calculer la réserve de route.

Même chose pour le dégagement (le régime de vol est toujours Long Range, la déviation de la température n'est pas incluse et le niveau de vol de dégagement).

Chapitre V:Présentation de l'application

Aéroport / Flight planing

FLIGHT PLANING

PASSAGER	TRIP OPTIONS
Adult <input type="text" value="0"/>	Distance <input type="text" value="228"/>
Enfant <input type="text" value="0"/>	Régime de vol <input type="text" value="M.79"/>
Poids totale <input type="text" value="0"/> Kg	Niveau de vol <input type="text"/>
	FL <input type="text"/>
	Vent <input type="text"/>
	ISA Dev <input type="text"/>
	Pourcentage de reserve de route <input type="text"/>
	<input type="button" value="Suivant"/>

CORGRO

Bagage <input type="text" value="0"/> Kg
autre <input type="text" value="0"/> Kg
total <input type="text" value="0"/> Kg
All loads <input type="text" value="0"/> Kg
ZFW <input type="text" value="0"/>

Figure 5.3 : Présentation de la fenêtre « Flight Planning ».

5.1.3 Présentation des résultats :

La présentation des résultats seront affiché en cliquant sur le bouton suivant dans la fenêtre précédente.

On trouvant sur cette fenêtre les résultats suivants :

- Le temps de vol
- Le temps de dégagement
- La charge totale embarquée
- Les différentes quantités de carburant
- La charge offerte selon la limitation utile

Chapitre V:Présentation de l'application

Aéroport / Flight planing / Résultat

Résultat

départ	Destination	A/C type	Temps de vol	Temps dégagement
ALG	ORN	B737-800	0	

Weight

Passager	Adult	Enfant	Total	Kg	Total payload	Kg
	0	0			0	

Fuel

R		c/o		Kg
D				
RR				
RF				
RD				
QLF				

Figure 5.4 : Présentation des résultats.

Exemple :

a. Choix des aéroports :

Vol : CDG-ALG

Aéroport de dégagement : ORN

Distance de vol : 746B NM

Distance dégagement : 228 NM

Home / About Us

AÉROPORT

Aéroport de départ: CDG

Aéroport destination: ALG

Distance: 746

Aéroport dégagement: ORN

Distance: 228 Km

DU: CZL

Distance: 186

MMSA: 79010 Kg | MMSC: 65300 Kg | MMCD: 62750 Kg | M/BAE: 40000Kg

Suivant

Figure 5.6 : Etape 1 choix d'aéroport CDG-ALG dégagement ORN

Chapitre V:Présentation de l'application

b. Configuration de vol :

Nombre de Passagers : Adulte : 119 , enfant :27

Cargo : charge totale = 4370

Régime de vol : 79M

Niveau de vol : FL340

Niveau de vol dégagement : 240

Vitesse du vent : 15

Isa dev : 10

Pourcentage de réserve de route : 5 %

PASSAGER		TRIP OPTIONS	
Adult	119	Distance	746
Enfant	27	Régime de vol	M.79
Poids totale	11060 kg	Niveau de vol	340
CORGRO		FL	240
Bagage	3670 kg	Vent	15
autre	700 kg	ISA Dev	10
total	4370 kg	Pourcentage de reserve de route	5
All loads	15430 kg	Suivant	
ZFW	55510		

Figure 5.7 : Etape 2 configuration de vol CDG-ALG.

Chapitre V:Présentation de l'application

c. Résultats :

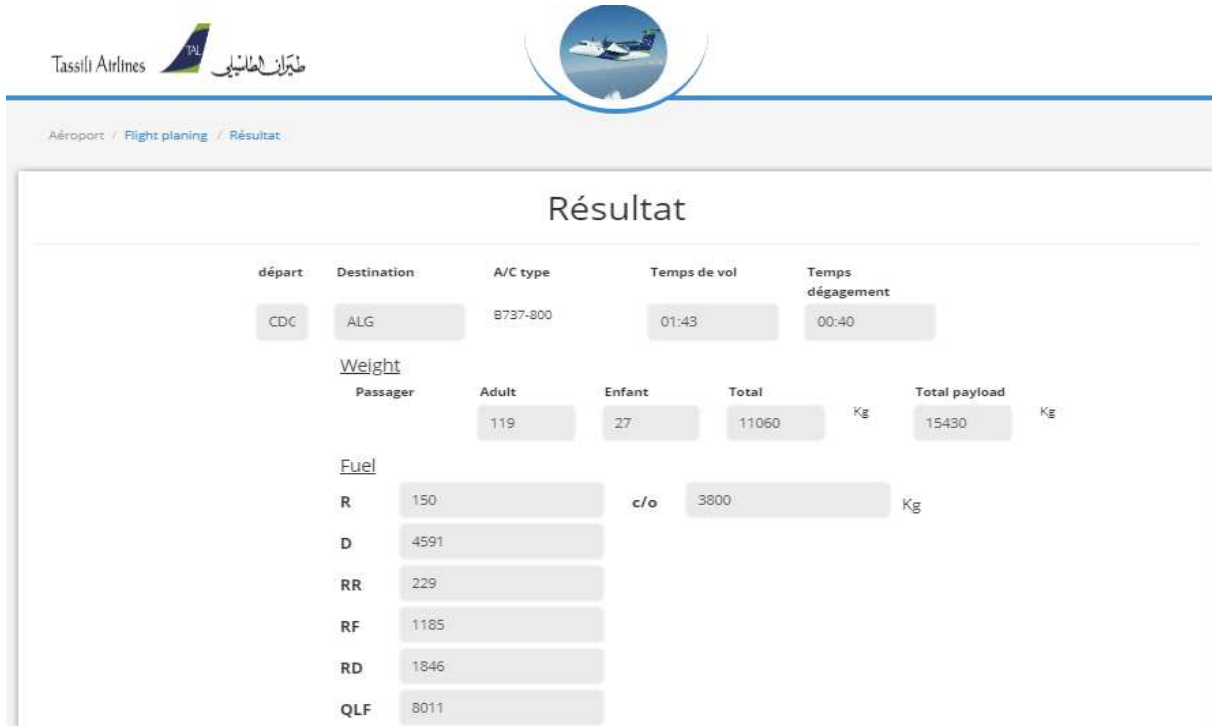


Figure 5.8 : Etape 3 résultats de vol CDG-ALG.

Exemple2 :

Pour cet exemple on choisit le même vol et on change l'aéroport de dégagement a l'aéroport de Constantine pour qu'on soit l'intérieure de la règle de réserve de route réduit a 3%.

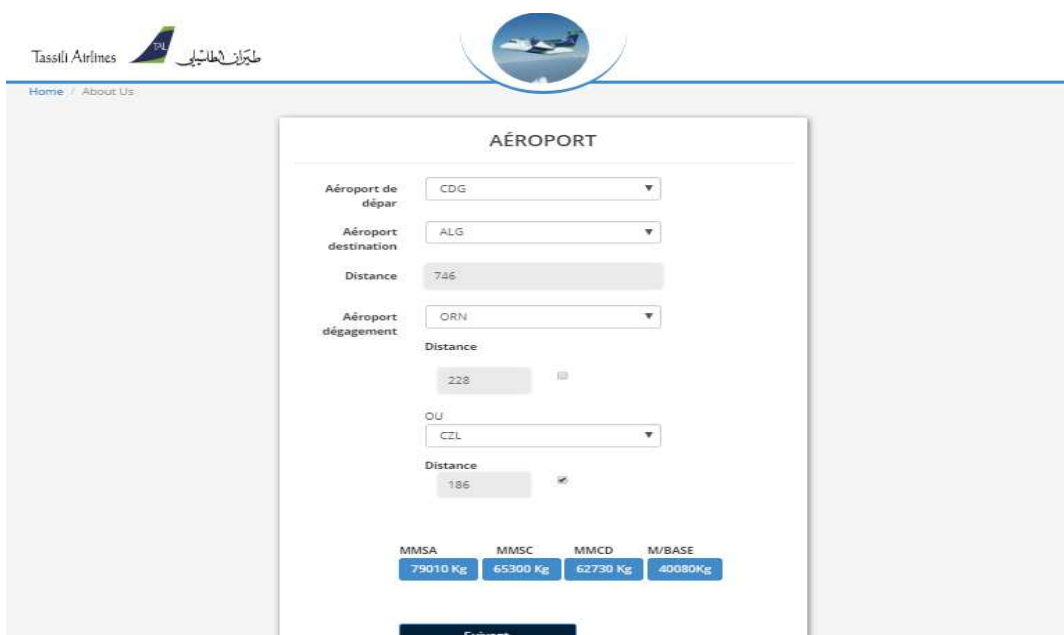


Figure 5.9 : Etape 1 vol CDG-ALG dégagement CZL.

Chapitre V:Présentation de l'application

Dans la prochaine étape de configuration de vol on garde les mêmes configurations de vol sauf qu'on a réduit le pourcentage de réserve de route

Nombre de Passagers : Adulte : 119 , enfant :27

Cargo : charge totale = 4370

Régime de vol : 79M



Niveau de vol : FL340

Niveau de vol dégagement : 240

Vitesse du vent : 15

Isa dev : 10

Pourcentage de réserve de route : 3%

Tassili Airlines  

Aéroport / Flight planning

FLIGHT PLANING

PASSAGER		TRIP OPTIONS	
Adult	119	Distance	746
Enfant	27	Régime de vol	M.79
Poids totale	11060 Kg	Niveau de vol	340
CORGRO		FL	240
Bagage	3670 Kg	Vent	15
autre	700 Kg	ISA Dev	10
total	4370 Kg	Pourcentage de réserve de route	3
All loads	15430 Kg	Suivant	
ZFW	55510		

Figure 5.10 : Etape 2 configuration de vol CDG-ALG dégagement CZL

Chapitre V:Présentation de l'application

Résultat :

Résultat						
départ	Destination	A/C type	Temps de vol	Temps dégage		
CDG	ALG	B737-800	01:43	00:30		
<u>Weight</u>						
Passager	Adult	Enfant	Total	Kg	Total payload	Kg
	119	27	11080		15430	
<u>Fuel</u>						
R	150	c/o	4227		Kg	
D	4591					
RR	137					
RF	1185					
RD	1523					
QLF	7583					

Figure 5.11 : Etape 3 résultat de vol CDG-ALG dégage CZL.

On résume les mêmes étapes qu'on a fait pour deux autres vols (SXB-CZL) et (TMR-ORN) on gardant la même configuration de vol sauf on change le pourcentage de route de 5% a 3% :

Nombre de Passagers : Adulte : 119 , enfant :27

Cargo : charge totale = 4370

Régime de vol : 79M

Niveau de vol : FL340

Niveau de vol dégage : 240

Vitesse du vent : 15

Isa dev : 10

le tableau suivant montre les résultats qu'on a obtenue avec un réserve de route égale a 5% de délestage :

Chapitre V:Présentation de l'application

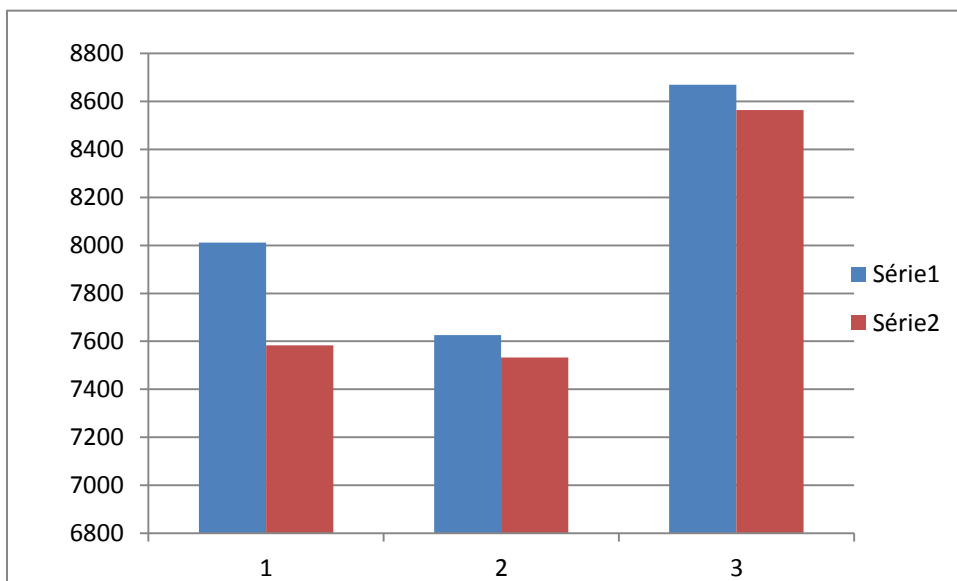
tableau5.1 :des résultats de quantité de carburant et la charge offerte avec un RR =5%D

VOLS	QLF	C/O
CDG-ALG	8011	3800
SXB-CZL	7626	4291
TMR-ORN	8670	3830

le tableau suivant montre les résultats qu'on a obtenue avec un réserve de route égale a 3% de délestage :

tableau 5.2 :des résultats de quantité de carburant et la charge offerte avec un RR =5%D

VOLS	QLF	C/O
CDG-ALG	7583	4227
SXB-CZL	7533	4383
TMR-ORN	8564	3939



Graphe 5.1 : comparaison entre les quantités des carburants des vols

Chapitre V:Présentation de l'application

La quantité du carburant est présentée en kilogrammes

Explication du graphe :

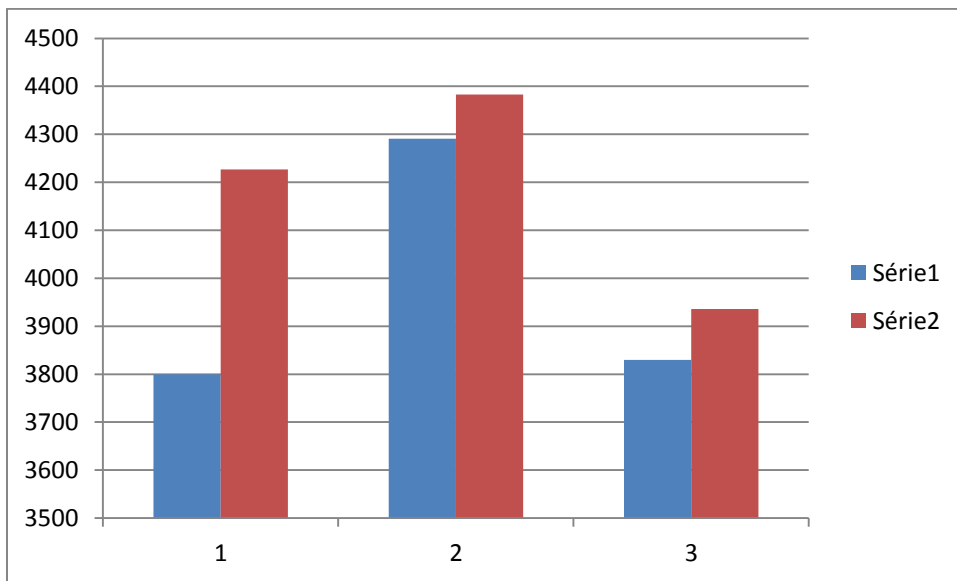
1 : vol CDG-ALG

2 : vol SXB-CZL

3 : vol TMR-ORN

Série 1 : la quantité calculée avec un RR égale a 5%D .

Série 2 : la quantité calculée avec un RR égale a 3%D.



Graphe 5.2 : comparaison entre les charges offertes de chaque vols

La charge est présenté en kilogrammes

Explication du graphe :

1 : vol CDG-ALG

2 : vol SXB-CZL

3 : vol TMR-ORN

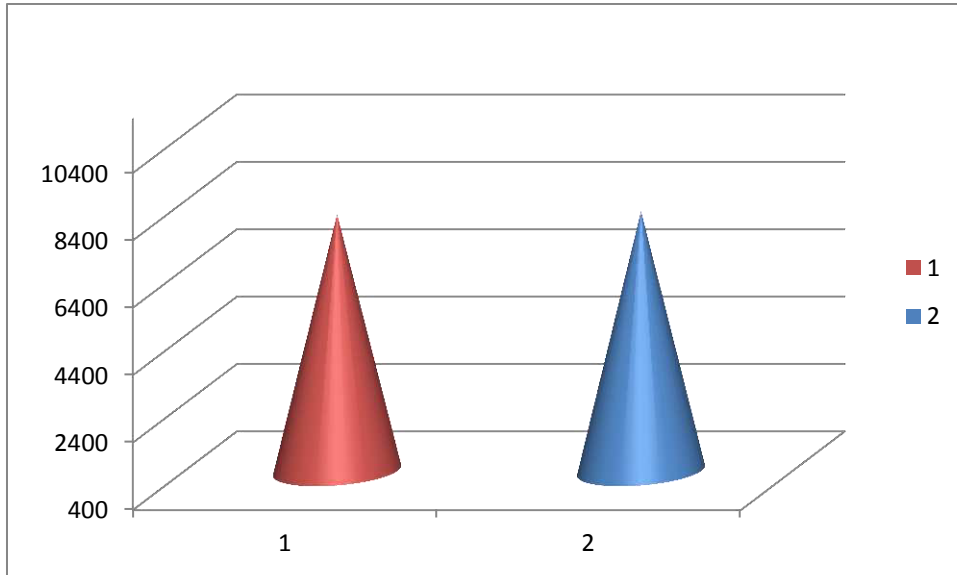
Série 1 : la charge offerte avec un RR égale a 5%D .

Série 2 : la charge offerte avec un RR égale a 3%D.

Chapitre V:Présentation de l'application

Comparaison nos résultats avec un RR egale a 5%D avec un plan de vol CDG-ALG de Tassili Airlines :

Pour voir mieux la précision de notre travaille on va présenter la comparaison sous forme de graphe :



Graphe 5.2 : comparaison de quantité de carburant entre notre application et un plan de vol de Tassili Airlines

5.2 Conclusion :

D'après ce qu'on a fait dans l'application on peut voir clairement la différence des résultats obtenue et on a essayé d'atteindre l'objectif d'optimisation de carburant de l'avion B737-800W ce qui donne une bonne stratégie pour consommer moins de carburant et gagner plus d'argents au niveau de la compagnie Tassili Airlines.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Au cours de notre travail, nous avons atteint le but cherché en réalisant une application , avec une interface simplifié pour les calculs de quantité de carburant à embarquer pour l'avion B737-800 en basant sur les manuels de constructeurs comme bases de données et en respectant les normes et les règles en matière des opérations aériennes.

Notre travail a été facile à utiliser ainsi qu'il a été précis dans les calculs tout en permettant un gain de temps considérable dans la préparation des vols.

Il est évident qu'un projet de cette nature ne se termine jamais, le prototype que nous avons réalisé pourra être amélioré et pourra contenir de nouvelles entrées, Donc ce travail laisse les portes ouvertes a ceux qui veulent prendre le relai pour améliorer l'application, afin de faire d'autres calculs de performances tels que les limitations de croisière, d'atterrissage et généraliser l'application sur tout la flotte de Tassili Airlines. Cette application pourrait aussi être intégrée sur des tablettes utilisables par les pilotes en vols.

Finalement, nous espérons que notre modeste travail pourra être exploitable au sein de la compagnie, et que nous avons supporté toutes les questions entourant ce sujet qui permettraient aux futurs étudiants de poursuivre ce travail pour des améliorations qui feront l'objet d'un nouveau sujet.