

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة سعد دحلب البلدية 01
Université SAAD Dahleb de Blida 01



معهد الطيران والدراسات الفضائية
Institut d'aéronautique et des études spatiales

===== :

**Projet de Fin d'Études En vue de l'Obtention
d'un master 2 en Aéronautique**

Département : Navigation Aérienne
Option : Opération aérienne

Thème

Conception d'une enveloppe opérationnelle d'un B737-800.

Présenté par :

* M^{elle} : OUHAMOUCHE YASMINE

* M^{elle} : BELAID LOUIZA

Encadré par :

* Mr : DEIBOUNE KHALID

* Mr : DRIOUECHE

Promotion : 2015/2016

DEDICACE

- *À la mémoire de mes deux grands pères*

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné vie ,le symbole de tendresse qui s'est sacrifiée pour ma réussite et mon bonheur ,mon ombre durant toute mes années des études ma mère FARIZA

- *À mon père qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager et me donner l'aide et me protéger Madjid*

- *À mon unique frère AHMED que j'adore*

- *À mon adorable petite sœur Doudou*

- *À mon adorable grande mère Hapou et ma tante Ouerdia*

- *À mes deux cousines Chahira et Saadiya que je chéri*

- *À tous mes cousins et cousines surtout la petite Zinouba et ma chère Hanane*

- *À mes meilleurs amis Hananet tefcha ,ibtissem*

Je dédie humblement ce modeste travail à :

- *À mes très chères parents en témoignage de leur amour, affection et surtout de leur soutien durant toute ma vie scolaire que je leur souhaite une longue vie ;*

- *À mes frères et mes sœurs ;*

- *À toute ma famille ;*

- *À mes amies ;*

- *À tout ceux qui mon aidé de prés ou de loin.*

REMERCIEMENT

Nous tenons d'abord à remercier dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons également à remercier notre encadreur DEIBOUNE pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période de travail nous tenons à lui dire que nous avons eu le privilège de travailler avec lui et d'apprécier ses qualités et ses valeurs.

Votre sérieux votre compétence et votre sens du devoir et vos qualités scientifiques et humaines surtout nous ont énormément marqué.

Un remerciement reconnaissant est adresser à notre promoteur monsieur DRIOUECHE qui nous a fourni une aide précieuse et nous a encourager pour réaliser ce travail.

Nos vifs remerciement vont également au membre de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre étude en acceptant de l'examiner.

Enfin nous tenons à remercier toute les personnes qui ont participé de près ou de loin pour accomplir ce travail.

ملخص

المغلف المرخص به هو المغلف المشيد من قبل صانع الطائرة و الذي لا يمكن الخروج عن نطاق حدوده لتبقى الطائرة في حالة امان.

المغلف العملي هو المغلف المشيد من قبل مختلف شركات الطيران ويجب أن يكون ضمن المغلف المرخص به

في عملنا، درسنا الطائرة من نوع بوينج 737-800 من شركة طيران الطاسيلي لتصميم غلاف التشغيل. من اجل ضمان أن المعتمدة خلال العملية لتأخذ في الاعتبار ما يلي يبقى مركز ثقل الطائرة في الحدود المصرح بها وعادة ما يتم الفوارق

- حركات عجلات الطائرة
- حركة الركاب
- حركة اللوحات
- الوقود
- التغيير في اللحظة الأخيرة

كلمات مفتاحية

المغلف المرخص به ، المغلف التشغيلي. الفوارق Δ , مؤشر, مؤشر Δ , عمل ثابت عمل

RESUME

L'enveloppe certifié d'un avion c'est l'enveloppe construite par le constructeur d'avion et qu'on ne doit pas sortir hors de ses limites pour être dans les meilleures conditions de sécurité.

L'enveloppe opérationnelle c'est l'enveloppe construite par l'exploitant d'avion et qui doit être inclus dans l'enveloppe certifiée.

Dans notre travail, on va faire une étude de cas d'un Boeing 737-800 de la compagnie Tassili Airlines pour la conception d'enveloppe opérationnelle pour assurer que le CG l'avion reste dans les limites de CG certifiés pendant le fonctionnement de ce dernier

Des curtaillements appropriées sont habituellement élaborées et appliquées pour tenir compte des éléments suivants

- Le mouvement des trains
- Le mouvement des passagers
- Le mouvement des volets
- Le carburant
- Le changement dernier minute

Mots clés

écourtement, Bras de levier, Δ index, index, Δ moment, moment constant, l'enveloppe certifiée, l'enveloppe opérationnelle.

ABSTRACT

The envelope certified an aircraft is the envelope built by the aircraft manufacturer and we can not get out of its limits to ensure safety.

The operating envelope is the envelope constructed by the airline operator and which should be included in the certified envelope.

In our work, we will make a case of Boeing 737-800 of the company Tassili Airlines study for the operational envelope of design to ensure that the CG aircraft remains within the limits of CG certified during operation, appropriate curtailments are usually developed and implemented to take account of the following

- Landing gear movements
- The passenger movement
- The movement of the flaps
- Fuel
- The last minute change

Key words

Curtailement, balance arm , Δ index, index, Δ moment, moment constant, certified envelope, the operational envelope.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Les valeurs de masse pour les bagages.....	05
Tableau I.2 : Les valeurs des masses pour les passagers.....	06
Tableau I.3 : Les poids moyens des passagers standards.....	07
Tableau I.4 : Les poids des membres d'équipage standards.....	08
Tableau II.1 : Les composantes de train arrière.....	28
Tableau II.2 : Les composantes de train avant.....	29
Tableau II.3 : La masse et le bras de levier de train avant et arrière.....	29
Tableau II.4 : Le changement de moment de chaque train lors de son mouvement.....	30
Tableau II.5 : La variation de position des volets en fonction des phases de vol.....	38
Tableau II.6 : Le moment de rétraction des volets.....	38
Tableau II.7 : résumé de calcul de Δ_{index} pour chaque zone.....	40
Tableau II.8 : le Δ_{index} maximum pour chaque zone.....	40
Tableau II.9 : représente les quantités de carburant et leurs bras de levier pour le réservoir de centre.....	41
Tableau II.10: représente les quantités de carburant et leurs bras de levier pour les deux réservoirs principaux.....	42
Tableau II.11:l'interpolation de deux valeurs de volume et BA.....	43
Tableau II.12 :Calcul de moment.....	43
Tableau II.13 :les caractéristiques de coordonnées des points T7 etF9.....	45
Tableau III.1 : Les coordonnées des points d'enveloppe certifiée.....	50
Tableau III.2:Les points d'emplacement des curtaillements pour chaque cas.....	53
Tableau III.3 :Tableau explicatif de changement d'index en fonction des mouvements des trains.....	54

Tableau III.4 :Tableau explicatif de changement de l'index en fonction des mouvements des volets.....	55
Tableau III.5:Tableau explicatif de changement de l'index en fonction de chargement du carburant.....	56
Tableau III.6 :Tableau explicatif de changement de l'index en fonction de changement dernière minute.....	57
Tableau III.7 :Le changement de l'index en fonction de mouvement des passagers.....	58
Tableau III.8:Tableau récapitulatif de conception de l'enveloppe opérationnelle.....	60

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Devis de poids et feuille de centrage de l'avion 737-800.....	12
Figure I.2 : Calcule de moment total.....	16
Figure I.3 : La corde aérodynamique moyenne.....	17
Figure I.4 : La marge de MAC.....	17
Figure I.5 : exemple de calcule de MAC.....	18
Figure I.6 : La relation entre MAC% et le bras de levier.....	19
Figure I.7 : Moments calculés pour un chargement de l'avion.....	20
Figure I.8 :L'index universel.....	21
Figure I.9: Exemple de chargement des pax.....	22
Figure II.1 : Enveloppe certifiée d'un B 737-800.....	26
Figure II.2 : Le bord de fuite des volets.....	32
Figure II.3 : Les volets Krueger.....	33
Figure II.4 : les dispositifs hypersustentateurs de bord d'attaque (slats), et de bord de fuite (flaps).....	34
Figure II.5 : Les déporteurs.....	34
Figure II.6 : Les composantes de la voilure.....	35
Figure II.7 : La production de mouvement de roulis.....	36
Figure II.8 : Déporteurs vol.....	36
Figure II.9 : Déporteurs sol.....	37
Figure II.10 : Hypothèse d'emplacement des passagers dans l'avion B737-800.....	39
Figure III.1 : L'enveloppe certifiée.....	51
Figure III.2 : L'enveloppe opérationnelle en cas de mouvement des trains.....	54
Figure III.3 : L'enveloppe opérationnelle en cas de mouvement des volets.....	55

Figure III.4 : L'enveloppe opérationnelle en cas de chargement de carburant.....	56
Figure III.5 : L'enveloppe opérationnelle en cas de changement dernière minute.....	57
Figure III.6 : L'enveloppe opérationnelle en cas de mouvement des pax.....	59
Figure III.7 : L'enveloppe opérationnelle.....	61

LISTE D'ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

ACRONYMES :

AFM:	Air Flight Manual
AHM:	Airport Handling Manual
APU:	Auxiliary Power Unit
BA:	Balance Arm
BEW:	Basic Empty Weight
CG:	Center of Gravity
DOW:	Dry Operating Weight
EU-OPS:	European Union Air Operation
FAA:	Federal Aviation Administration
FAA AC:	Federal Aviation Administration Advisory Circular
FMC:	Flight Management Computer
FPPM:	Flight Planning and Performance Manual
IATA:	International Air Transport Association
LEMALC:	Leading Edge of the MAC
LMC:	Last Minute Change
MTW:	Maximum Taxi Weight
MZFW:	Maximum Zero Fuel Weight
MTOW:	Maximum Takeoff Weight
MLW:	Maximum Landing Weight
MAC:	Mean Aerodynamic Chord
Pax:	Passagers
OPS:	Air Operations
ULD:	Unit Load Device
WBM:	Weight and Balance Manual

Symboles :

<i>Symbole</i>	<i>Désignation</i>	<i>Unité</i>
W	weight	[Kg]
M	masse	[Kg]
g	gravité	[m.s ⁻²]
F	force	[Kg.m.s ⁻²]
V _R	vitesse de rotation	[m.s ⁻¹]
V	volume	[m ³]
V ₁	vitesse de décision au décollage	[m.s ⁻¹]
V ₂	vitesse de sécurité au décollage	[m.s ⁻¹]
G	constante de gravitation universelle	[N.m ² .Kg ⁻²]
ρ	masse volumique	[Kg.m ⁻³]
ρ_{air}	masse volumique d'air	[Kg.m ⁻³]
D	densité	-
c _t	la corde d'extrémité de l'aile	[m]
c _r	le corde de l'emplanture	[m]

Symboles grecs :

<i>Symbole</i>	<i>Désignation</i>	<i>Unité</i>
λ	effilement	-
Δ	delta	-

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	2
------------------------------------	----------

CHAPITRE I : GENERALITES

I .1.INTRODUCTION	3
I .2. REGLEMENTATION.....	3
I .2.1. Déterminations de poids de carburant	3
I .2.2. Détermination de poids de cargo	3
I .2.3. Détermination de poids des bagages enregistrés	5
I .2.4. Déterminations de poids des passagers transportés	6
I .2.5. Déterminations de poids des non standards passagers.....	7
I .2.6. Déterminations de poids des articles opérationnelles	8
I .2.7. Détermination de l'initial BEW et BEW CG.....	9
I .2.8. Pesé des avions	10
I .3. CONCEPTE DE BASE	10
I .3.1.Weight and Balance Manuel WBM	10
I .3.2. Définitions et Abréviations	11
I .4 DEVIS DE MASSE	13
I .5. CENTREGE.....	15
I .6.MOMENT.....	15
I .7.INDEX.....	19

CHAPITRE II : CONCEPTION DE L'ENVELOPPE OPERATIONNELLE

II .1. INTRODUCTION	25
II .2. LES MOUVEMENTS DES TRAINS D'ATTERISSAGE.....	26
II .2.1. Définition.....	26
II .2.2. Méthode de calcul de Δ_{index}	27
II .3.LE MOUVEMENT DES VOLETS.....	32
II .3.1. Principe de fonctionnement des volets	32
II .3.2.Méthode de calcul	38

II .4.LE MOUVEMENT DESPASSAGERS	39
II .4.1.Théorie d'emplacement des passagers	39
II .4.2.Méthode de calcul de Δ index.....	39
II .5.CHARGEMENT DE CARBURANT.....	40
II .5.1. Les critères de carburant affectant le CG de l'aéronef.....	40
II .5.2.Méthode de calcul de delta index	41
II .6. CHANGEMENT DERNIER MINUTE.....	44
II .6.1. Introduction.....	44
II . 6.2. Méthode utilisé pour créer curtailements LMC	45

CHAPITRE III : RESULTATS DES EQUATIONS

TRAITER DANS LE 2 EME CHAPITRE

III.1.Introduction.....	50
III.2.TABLEAUX EXPLICATIFS POUR CHAQUE CAS.....	50
CONCLUSION GENERALE.....	63

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La réglementation nationale et internationale régissant L'exploitation des avions impose une lourde considération de l'aspect Masse et centrage des avions sur les constructeurs et les exploitants, cela est motivé par l'importance de ce volet en termes de sécurité des vols.

Dans ce sillage , Les constructeurs des avions sont tenus de développer et de publier dans le Manuel Weight & Balance l'enveloppe Certifiée du centre de gravité de l'Avion, cependant et après la livraison des avions, l'exploitant doit tenir en compte les contraintes opérationnelles qui peuvent surgir lors de l'exploitation de cet avion, ce travail se traduit dans l'élaboration de l'enveloppe opérationnelle du centre de Gravité.

L'enveloppe certifiée est définie par des points où les coordonnées sont l'index en abscisse et le poids en ordonné,

L'enveloppe opérationnelle du Centre de Gravité de l'avion est la résultante de l'application des tous les 'curtailment' ou pénalisations liées à l'exploitation de l'avion à savoir :

- Changement de dernière minute du nombre de passagers
- Entrée et sortie des Volet et des Trains d'atterrissage
- Changement de la Quantité de Fuel à bord de l'avion durant le vol (enconsommation)
- Autres

L'objectif de ce travail est de tracer l'enveloppe opérationnelle de l'avion Boeing 737-800 NG de la compagnie Tassili Airlines.

Afin d'achever cet objectif, le travail a été mené comme suit :

Une recherche bibliographique sur le thème d'où on a mis l'œil sur l'aspect réglementaire du Volet Weight & Balance dans l'exploitation des avions ainsi les différentes définitions qui peuvent aider pour une bonne compréhension du sujet.

Abordant le corps du sujet en appliquant les différentes pénalisations 'Curtailment' et calculant les différentes coordonnées des points de l'enveloppe opérationnelle et terminant par le traçage de l'enveloppe opérationnelle qui est sujet du de travail.

Les documents de base utilisés afin d'achever le travail sont :

- Le Manuel Weight & Balance B738-NG dédié à Tassili Airlines.
- Un Support des instructions pour l'élaboration de l'enveloppe opérationnelle éditée par Boeing compagnie en faveurs des exploitants.

CHAPITRE I :

GENERALITES

I.1.INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, on mettra l'œil l'aspect réglementaire élaboré par les autorités d'aviation civile internationale qui traitent tout ce qui est devis de masse, poids et centrage. Passant par des définitions et des généralités sur le concept masse et centrage des avions .

I.2.REGLEMENTATION

I.2.1.Détermination du poids du carburant

EU-OPS 1.605 (e)

« L'exploitant doit déterminer la masse du carburant, la charge à l'aide de la densité réelle ou à défaut. La densité calculée conformément à un procédé spécifié dans le manuel d'exploitation » .

FAA AC 120-27E, chapitre 1, Sect. 2, paragraphe 106

Pour déterminer le poids de chaque fluide utilisé à bord d'avion, un opérateur doit utiliser l' une des opérations suivantes:

- a. Le poids réel de chaque fluide.
- b. conversion du volume standard pour chaque fluide.
- c. conversion du volume qui comprend une correction de facteur température.

➤ Poids du combustible totale chargé habituellement, détermine les jauges de carburant d'avion (cockpit ou sous aile) et ou le camion de ravitaillement paperasse.

➤ Poids du carburant de taxi utilisé avant le décollage est généralement déterminé à partir du temps de taxi supposé (basé éventuellement sur l'analyse statistique) multipliée par Boeing qui fourni des valeurs de débit de carburant nominales.

- Les valeurs nominales du débit de carburant de taxi et le débit de carburant APU sont publiés dans le «Manuel de planification de vol et de performance" (FPPM).

➤ Certaines compagnies aériennes comprennent également une comptabilité pour tout carburant supplémentaire brûlé par l'APU avant le décollage.

I.2.2.Détermination de Poids cargo :

FAA AC 120-27E, chapitre 2, sect. 2, paragraphe 207.a

« L'exploitant doit utiliser les poids réels pour les passager, les pièces d'avion, et le fret transporté à bord d'un avion ».

FAA AC 120-27E, appendice 1, point 8

« Fret, Cargo a transporté pour la location de compartiment de cargo qui ne soit pas un courriel ou des sacs de passagers ».

FAA AC 120-27E, chapitre 2, sect. 2, paragraphe 207.b

« L'exploitant doit utiliser les poids fournis avec envois postaux manifestés pour tenir compte du poids du courrier ».

* (EU-OPS les exigences sont très similaires, ce qui nécessite des poids réels a être utilisés)

I.2.3.Déterminer le poids des bagages enregistrés :

FAA AC 120-27E et EU-OPS 1.620 sont similaires en offrant trois méthodes principales pour les opérateurs de gros avions:

1. Mode d'emploi standard, le poids des bagages moyens qui est autorisé par les règlements.
2. Mode d'emploi standard, le poids des bagages moyens en fonction des résultats de l'enquête des compagnies aériennes.
3. Utiliser des poids de bagages réels.

EU-OPS 1.620 (f) les valeurs de masse pour les bagages

Type de vol	norme de bagages Masse
Domestique	11Kg
	24.3 lb
Dans la région européenne	13 Kg
	28.7 lb
Intercontinental	15 Kg
	33.1 lb
Tous les autres	13 Kg
	28.7 lb

Tableau I.1 : Les valeurs de masse pour les bagages .

FAA AC 120-27E Chapitre 2, sect. 2, paragraphe 203

"Un opérateur qui choisit d'utiliser la norme du poids moyen pour les bagages enregistrés doit utiliser un poids moyen normal d'au moins 30 livres.

« Un opérateur qui demande l'autorisation d'utiliser un poids moyen standard de moins de 30 livres »

« Pour les bagages enregistrés, ils doivent avoir en cours des données d'enquête valables pour supporter un poids moindre ».

I.2.4.Détermination du poids des passagers transportés :

FAA AC 120-27E et EU-OPS 1.620 sont similaires offrant les trois principales méthodes suivantes:

1. L'utilisation standard, le poids du passager moyen est basé sur les poids autorisés par les règlements.
2. L'utilisation standard, le poids du passager moyen est en fonction des résultats des poids de l'enquête des compagnies aériennes.
3. Utilisez le poids réel du passager

EU-OPS 1.620 (d) valeurs des masses pour les passagers (avion avec 30 places ou plus)

Type de vol	male	femelle	adulte
Tous les vols sauf charters vacances (80% male/20% femelle Assumée pour « adultes »)	88Kg	70Kg	84Kg
	194.0 lb	154.3lb	185.2lb
Charter vacances vacances (50% male/50% femelle Assumée pour « adultes »)	83Kg	69Kg	76Kg
	183.0lb	152.1lb	167.6 lb
Enfants (≥2 <12 ans)	35 Kg	35 Kg	35 Kg
	77.2 lb	77.2 lb	77.2 lb

Tableau I.2 : Les valeurs des masses pour les passagers.

Par EU-OPS 1.620 (a) :

« L'exploitant doit calculer la masse des passagers et les bagages enregistrés. Il utilise : soit la masse pesée réelle de chaque personne et la masse pesée réelle des bagages, ou des valeurs forfaitaires ... »

Par EU-OPS 1.620 (b) :

"Si la détermination de la masse réelle est pesée par un opérateur, il doit veiller à ce que les passagers et les bagages à main sont compris. Cette pesée doit être effectuée immédiatement avant l'embarquement et à un emplacement adjacent ".

FAA AC 120-27E, Chapitre 2, Section 2, paragraphe 201

Poids moyens des passagers standards :

Type de vol	male	femelle	Adulte moyen	Enfants (≥2 <13ans)
Vol d'été (50% male/50% femelle assumée pour « adulte moyen »)	200 lb	179 lb	190 lb	82 lb
	90.7 Kg	81.2 Kg	86.2 Kg	37.2 Kg
Vol d'hiver (50% male/50% femelle assumée pour « adulte moyen »)	205 lb	184 lb	195 lb	87 lb
	93.0 Kg	83.5 Kg	88.5 Kg	39.5 Kg

Tableau I.3 : Les poids moyens des passagers standards.

Par FAA AC 120-27E, Chapitre 2, sect. 5, paragraphe 220 et 221, si l'opérateur utilise les poids réels:

"Un opérateur peut déterminer le poids réel des passagers par:

a. Peser chaque passager sur une échelle avant de monter dans les aéronefs. Les types d'échelles de poids et les tolérances d'échelle seront définis dans le poids et l'équilibre de contrôle approuvé de programme de l'exploitant.

b. Demander à chaque passager son poids. Un opérateur doit ajouter à cette demande volontaire de poids au moins 10 livres pour tenir compte des vêtements. Un opérateur peut augmenter cette allocation pour vêtements sur certaines routes ou pendant certaines saisons, le cas échéant.

Pour déterminer le poids réel d'un objet personnel porté sur sac, bagage ou un sac lourd l'opérateur devrait peser l'élément sur une échelle.

I.2.5.Détermination du poids des non -standards passagers :

UE-OPS 1.620 (h), Similaire à FAA AC120-27E, chapitre 2, section 2, paragraphe 208

« Sur tout vol identifié comme transportant , le nombre de passagers dont les masses y compris les bagages à main, devraient dépasser la masse des passagers standard. Un exploitant ou un opérateur doit déterminer la masse réelle de ces passagers par pesée ou en ajoutant une masse suffisante incrémenter ».

I.2.6.Détermination du poids des Articles opérationnels :

EU-OPS 1.607 (a)

La masse totale de la masse à vide de fonctionnement est la masse totale de l'avion prêt pour un type spécifique des opérations, en exclusion de tout carburant utilisable et le trafic chargé. Cette masse inclut des éléments tels que:

- (1) l'équipage et bagages de l'équipage
- (2) Restauration et service passager
- (3) l'eau potable et des produits chimiques pour toilettes

FAA AC 120-27E, Chapitre 2, Section 2, paragraphe 206, Tableau 2-3 : poids des membres d'équipage standards

Membres d'équipe	poids moyen	poids moyen avec des sacs
Equipage	190 lb	240 lb
	86.2 Kg	108.9 Kg
agent de bord –male	180 lb	220 lb
	79.5 Kg	97.1 Kg
agent de bord –femelle	160 lb	200 lb
	72.6 Kg	90.7 Kg
agent de bord –moyen	170 lb	210 lb
	77.1 Kg	95.3 Kg
équipage rouleau d'élément de sac	30 lb	N/A
	13.6 Kg	
sac de vol pilote	20 lb	N/A
	9.1 Kg	
agent de bord –trousse	10 lb	N/A
	4.5 Kg	

Tableau I.4 :Les poids des membres d'équipage standards

- Poids des fluides opérationnels tels que l'eau potable, le moteur et l'huile APU, carburant inutilisable, produits chimiques pour toilettes, etc. généralement basée sur informations trouvées dans WBM.
- Poids de tous les autres articles opérationnels habituellement déterminée sur la base des allocations créées à partir de résultats statistiques de pesage des articles similaires sauf si le fluide est inclus dans le BEW de l'avion

EU-OPS 1.615 valeurs de masse pour l'équipage :

- "L'exploitant doit utiliser les valeurs de masse suivantes déterminer la masse de base:
 1. les masses réelles y compris tous les bagages de l'équipage.
 2. des masses forfaitaires, y compris les bagages à main, de 85kg (187,4lb) pour les membres d'équipage de conduite et 75kg (165,4lbs) pour les membres d'équipage de cabine.
 3. d'autres masses forfaitaires acceptables pour l'Autorité.
- L'exploitant doit corriger la masse de base à compte tout bagage supplémentaire ».
- Poids de tous les autres articles opérationnels habituellement déterminé sur la base des allocations créées à partir de résultats statistiques de pesage. Des articles similaires sauf si le fluide est inclus dans le BEW de l'avion .

I.2.7.Détermination de l'initial BEW et BEWCG :

- Le BEW et BEW CG sont généralement basés sur les résultats à l'échelle de la plus récente de pesage de l'avion
- ajustements analytiques aux résultats de l'échelle, pour obtenir le courant BEW et BEW CG, comprennent:
 - Ajout d'éléments qui sont inclus dans le BEW mais n' étaient pas à bord au moment de la pesée
 - Articles de soustraction qui ne sont pas inclus dans le BEW mais étaient à bord au moment de la pesée
 - Ajout et soustraction des éléments qui sont ajoutés ou soustraits à l'aéronef entre les cycles de pesée.

FAA AC 120-27E, chapitre 1, section 1, paragraphe 100EU-OPS 1.605 (b)

- Avant d'être mis en service, chaque aéronef devrait être pesé à poids vide et établir son CG
- Les nouveaux avions sont normalement pesés aux usines .Ils sont éligibles pour être placé dans le fonctionnement sans aucune nouvelle pesée si le poids été ajusté pour tenir compte des modifications à l'appareil à moins que certaines autres modifications aux bons de souscription d'aéronefs soit pesé.

FAA AC 120-27E, chapitre 1, section 1, paragraphe 100; similaire l'annexe 1 de l'EU-OPS 1.605 (a) (1) (i)

- Aéronefs transférés d'un opérateur avec un programme de contrôle de masse approuvé, pour un autre opérateur avec un programme approuvé, ils n'ont pas besoin d'être pesé avant l'utilisation par l'opérateur à moins plus de quatre ans ne se sont écoulés depuis la dernière pesée .

- Aéronef transféré d'un opérateur qui a un poids approuvé et le programme de l'équilibre à un autre opérateur avec un programme approuvé ne doit pas être pesé avant l'utilisation par l'exploitant, à moins plus de 36 mois se sont écoulés depuis la dernière flote de pesage ou à moins que d'autres modifications des bons de souscription d'avions que l'aéronef soit pesé.
- «Aéronef transféré, acheté ou loué à partir d'un opérateur sans un poids approuvé et l'équilibre programme et qui ont été non modifiée ou seulement peu modifié, peut être mis en service sans étant repesé si la dernière pesée a été accompli... Au cours des 12 derniers mois, le poids et changement solde record ont été maintenue par l'opérateur » .

I.2.8.Pesé des avions :

FAA AC 120-27E, chapitre 1, section 1, paragraphe 103a

« Les avions sont normalement pesés à intervalles de 36mois. Un opérateur peut cependant prolonger cette période de pesage à 48 calendrier mois depuis la dernière pesée » .

FAA AC 120-27E, chapitre 1, section 1, paragraphes 104.a

« L'exploitant doit prendre des précautions à veiller à ce qu'il pèse un avion comme précisément que possible ».

« L'exploitant doit établir et suivre des instructions pour le pesage de l'avion qui sont compatibles avec les recommandations de constructeur d'avions et de l'échelle fabricant » .

Annexe 06, Partie1, Edition 9, Préparation de vol

« Aucun vol ne sera entrepris avant de remplir des fiches de préparation de vol certifiant que le pilote commandant de bord a vérifié :

- que la masse et le centrage de l'avion permettent d'effectuer le vol avec sécurité, compte tenu des conditions de vol prévues ;
- que toute charge transportée est convenablement répartie à bord et arrimée de façon sûre

I.3.CONCEPT DE BASE :

I.3.1.WBM Weight and Balance Manual :

Il doit contenir:

- Les limites de Poids Et de centre de gravité.
- L'état de l'avion et les éléments inclus dans le poids à vide
- Les instructions de chargement pour assurer que les limites du poids et du centre de gravité des avions ne sont pas dépassés.

Un manifeste de charge est nécessaire pour chaque vol .

- WBM fournit des informations pour permettre aux opérateurs de développer le manifeste:
 - Poids des avions, carburant et l'huile, fret et bagages des passagers et membres d'équipage.
 - Emplacements des bras de levier et les changements de moment d'éléments qui pourraient éventuellement modifier le centre de gravité de l'avion.

I.3.2.Définitions :

La masse: est une mesure de l'inertie d'un corps et la propriété d'un corps fini dans l'espace qui peut subir une force extérieure en accélérant à un rythme donnée par l'équation: $F = ma$

La masse est constante c.à.d. la masse ne varie pas avec son emplacement dans l'espace, elle est mesurée en kilogramme

Le poids : La force exercée sur un objet par l'accélération gravitationnelle. Le poids est le produit de la pesanteur et de la masse ($W = mg$) dont la force des systèmes métriques est mesurée en Newtons.

(Un kilogramme × force) est égale à 9, 80665 Newtons

Conversions :

Kilogramme (force)*2.2046226=pounds

Pounds*.45359237=kilogramme (force)

Nous allons laisser tomber le mot «force» à partir de ce point, et dire simplement kilogramme

Composants Horaire de chargement !

- les horaires de chargement comprennent généralement deux composantes principales :
 - Loadsheets et Loadmessage Formats standard IATA AHM
 - Version graphique Et systèmes informatisés
- les horaires de chargement peuvent également inclure un "*Loading Instruction / Rapport*" (parfois appelé «plan de charge» - plus communément utilisé avec des avions ULD chargé)
 - De nombreuses variantes et formats de présentation existent pour ces trois composants
 - La terminologie peut varier entre les compagnies aériennes.

Loadsheet et Loadmessage :

Utilisés pour assurer les limites de poids qui ne doivent pas être dépassées pendant le chargement divers aéronefs.

Calcule et contrôles des conditions et documents de poids données pour l'expédition

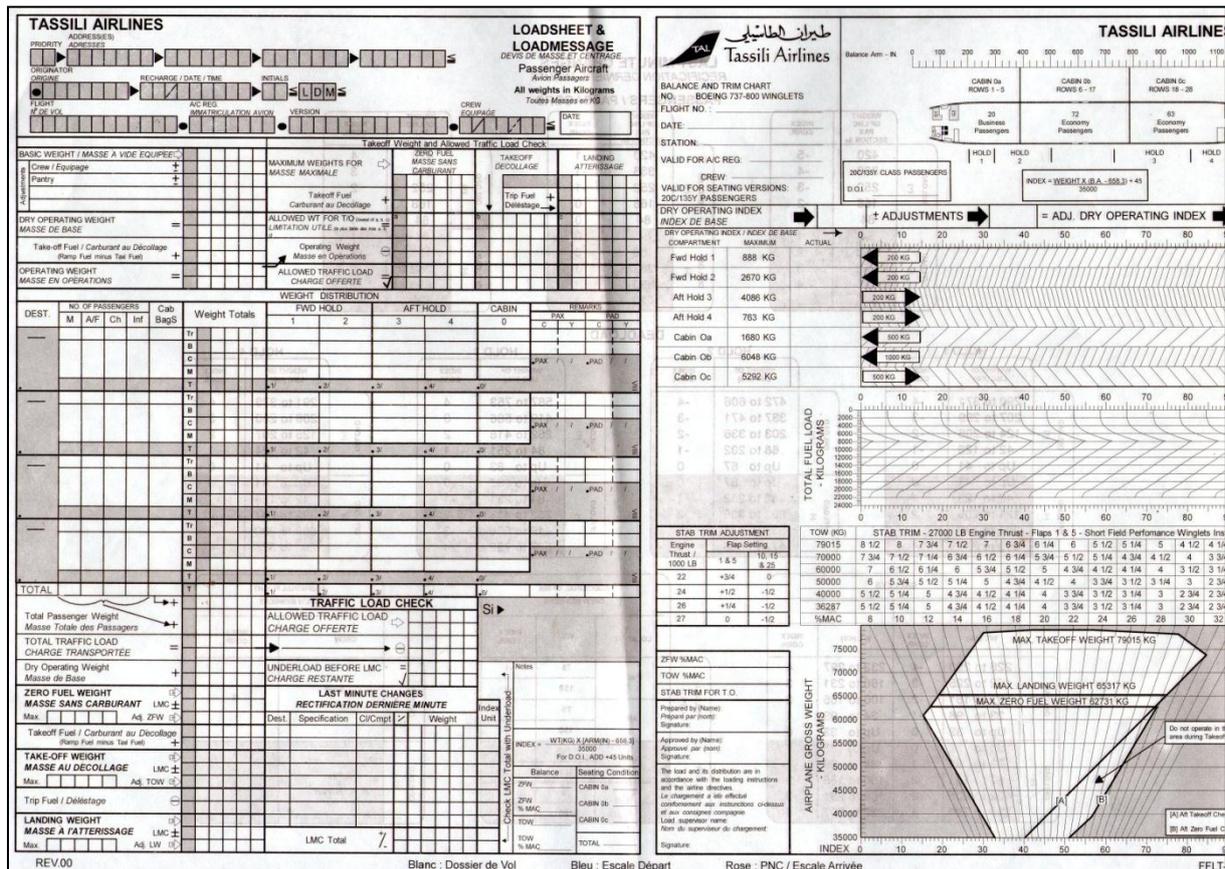


Figure I.1 : Devis de poids et feuille de centrage de l'avion 737-800

Loading Instruction / Rapport :

Comprend généralement:

- Illustration d'avions inférieure mise en attente avec une représentation de tous les postes de chargement
- Instructions pour la charge de transport en commun, hors charge, RE-charge, en charge
- Enregistrement des écarts par rapport à instructions d'origine
- Résumé de toutes les charges spéciales
- Signature de la personne responsable de chargement

Un calendrier de chargement: est l'outil que nous utilisons pour nous aider à bien compter le poids d'expédition ainsi CG

Pourquoi un calendrier de chargement est Important ?

- Assure que les limites du poids et du centre de gravité certifié ne sont pas dépassées
- Veiller à ce que les limites de chargement ne sont pas dépassé dans :
 - Les compartiments de fret individuels
 - Avion total
- Fournit le poids précis et une bonne sélection de centre de gravité
- Fournit le poids de décollage précis pour détermination des vitesses de décollage (V 1 V R V 2) et les performances requises
- Fournit des données pour l'entrée en FMC

I.4.DEVIS DE MASSE :

Un certain nombre de masse est associé à un avion de transport public et apparait dans le calcul des limitations et de la charge offerte. Ces masses sont définies comme suite :

Masses non structurales

Masse à vide obtenue sans tenir compte de :

- La totalité du carburant et des autres fluides
- L'armement commerciale (sièges, moquette)
- Le matériel de sécurité
- Le lot de bord
- Les unités de chargement vide
- L'équipage et ses bagages

Masse à vide équipée

C'est la masse à vide à la quelles s'ajoute l'armement minimale pour tout vol :

- ➔ La quantité normale de l'huile
- ➔ Armement commerciale
- ➔ Le matériel de sécurité et de sauvetage
- ➔ Le lot de bord
- ➔ Les unités de chargement vide

Masse de base ou masse à vide en ordre d'exploitation (DOWDry Operating Weight) :

C'est la masse à vide à la quelles s'ajoute l'armement nécessaire pour tout vol : commissariat et équipements nécessaires pour le service passager

- Le matériel de sécurité et de sauvetage
- Le lot de bord
- Equipage et ses bagages ainsi que la documentation.

Masse structurelle :

Ces masses sont le résultat de calcule de résistance des matériaux effectués conformément aux réglementations de certification.

Masse maximale de roulage MTW :

C'est la masse à laquelle l'avion peut évoluer au sol (soit taxi ou de remorquage).

Masse maximale sans carburant MZFW :

C'est la masse maximale, les réservoirs ne contenant pas de carburant, tout poids ajouté au- dessus du MZFW doit être seulement en raison de carburant.

Masse maximale au décollage MTOW :

C'est la masse maximale au début de roulement au décollage (conception pour 6 fps (360 fpm) taux de puits au toucher des roues sans aucun dommage structurel)

Masse maximale à l'atterrissage MLW :

C'est la masse maximale à la quelle l'avion est autorisé à atterrir (conception pour 10 fps (600 fpm) taux de puits au contact vers le bas avec aucun dommage structurel).

Note: les débarquements en surpoids ont besoin d'une inspection ou d'évaluation structurelle avant la prochaine opération quel que soit le taux de dissipateur tactile vers le bas.

Les masses maximales structurales (roulage ; sans carburant ; décollage ; atterrissage) peuvent varier avec le centrage de l'avion .

Limitations de Poids opérationnel :

Le maximum admissible opérationnel Takeoff poids peut être limité à un poids qui est inférieure au Poids Certifié maximum par le plus restrictif des conditions suivantes:

- les exigences de performances de l'avion pour une donnée altitude et la température
- Longueur du champ de Takeoff disponible
- Les limites de vitesse des pneus et de l'énergie de freinage
- Exigences de montée minimum
- Exigences de franchissement d'obstacles
- Les exigences de bruit
- limites de pression des pneus
- Exigences de la piste de chargement
- Centre de limitations de gravité

I.5.LE CENTRAGE :

Le centrage participe à l'équilibre des forces et des moments agissants sur l'avion (force de gravité, force propulsive, forces aérodynamiques de portance et de traînée) dans toutes les phases de vol. Le centre de gravité est situé généralement à proximité (légèrement en avant) du centre de portance de la voilure afin de minimiser les moments aérodynamiques stabilisants nécessaires à l'équilibre . On ajuste l'équilibre avec des compensateurs (en anglais *trim*) agissant sur les gouvernes.

La plage de centrage d'un avion est généralement ramenée à un pourcentage de la longueur de la corde moyenne (surface portante divisée par l'envergure). Pour un avion léger, une plage typique va de 18 à 32 % de la corde, soit une vingtaine de centimètres pour une corde moyenne de 1.40 m. La valeur moyenne du centrage est autour de 25 % de la corde. Sur certains avions à delta comme le Concorde, la position de la résultante de portance varie avec la vitesse entre le subsonique et le supersonique : l'ajustement du centre de gravité se fait en déplaçant du carburant vers des réservoirs placés en avant et en arrière du centre de gravité.

I.6.LE MOMENT :

Le «moment »à propos de tout point donné (d'un système en équilibre) en raison d'une force appliquée peut être déterminé en multipliant la force par la distance entre son point d'application et le point donné.

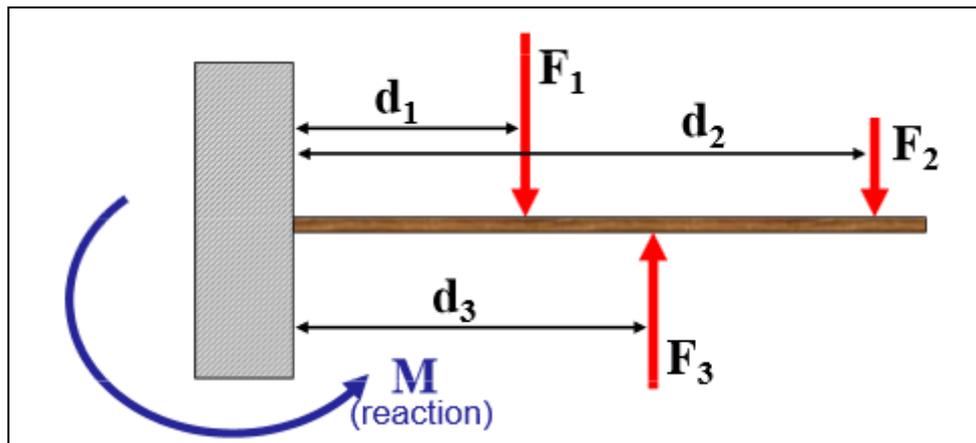


Figure I.2 : Calcule de moment total.

Moment total horaire autour du point d'intersection entre la planche et le mur en raison des forces combinées :

$$\text{moment total} = (F1 * d1) + (F2 * d2) + (F3 * d3)$$

Calcul de moment et détermination de centre de gravité CG :

Centre de gravité CG est le point autour duquel aucun mouvement ou rotations de produit si l'objet ou le groupe des objets, est théoriquement pris en charge à ce point. La somme des forces et des moments produits par la distribution du poids d'un groupe d'objets au sujet de leur CG combiné serait égale à zéro si les objets pourraient être soutenus exactement à cet endroit.

La corde aérodynamique moyenne MAC % (MeanAérodynamicChord) :

La «corde » est la distance entre le bord d'attaque au bord de fuite d'un profil aérodynamique (une section transversale d'une aile donnée)

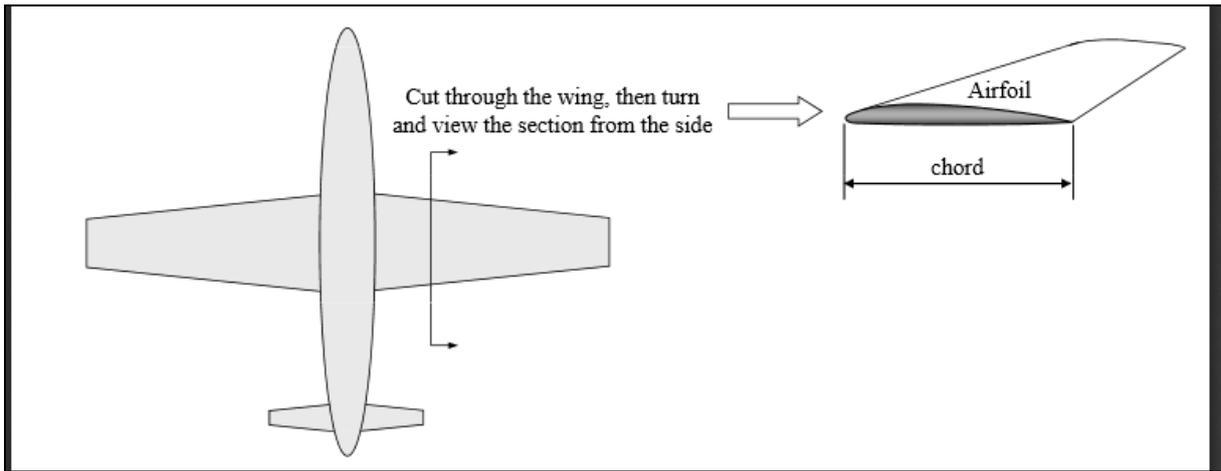


Figure I.3 : La corde aérodynamique moyenne.

L'emplacement longitudinal du CG d'un avion est généralement prévu en termes de «la corde aérodynamique moyenne M A C.

Le MAC est caractérisé par l.

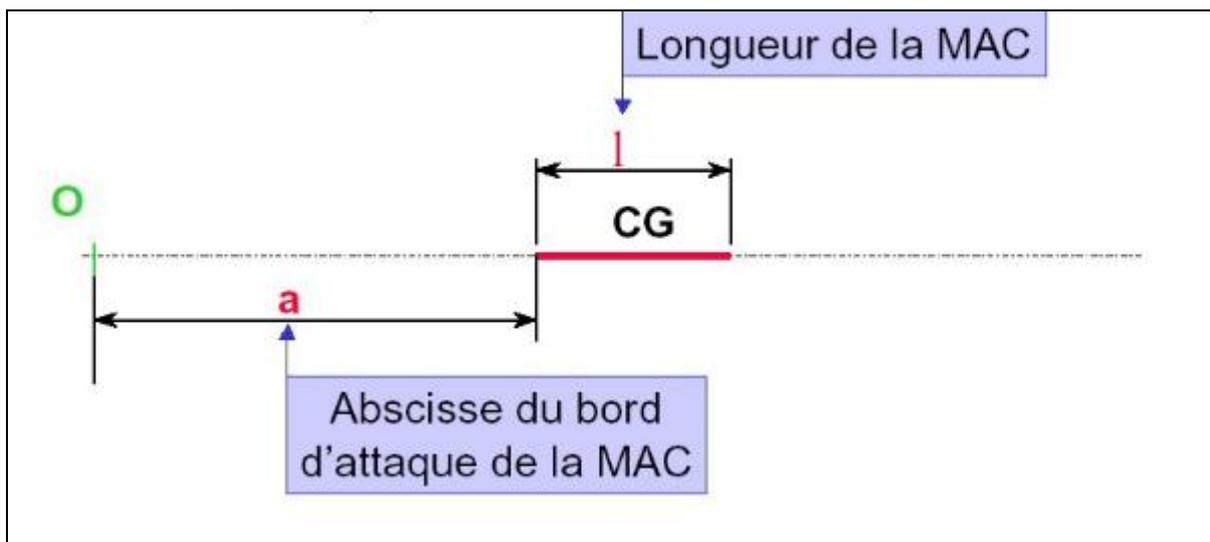


Figure I.4 : La marge de MAC.

Le centrage s'exprime en MAC%

$$C\% = 100 * \frac{d - a}{l}$$

Pour calculer le MAC :

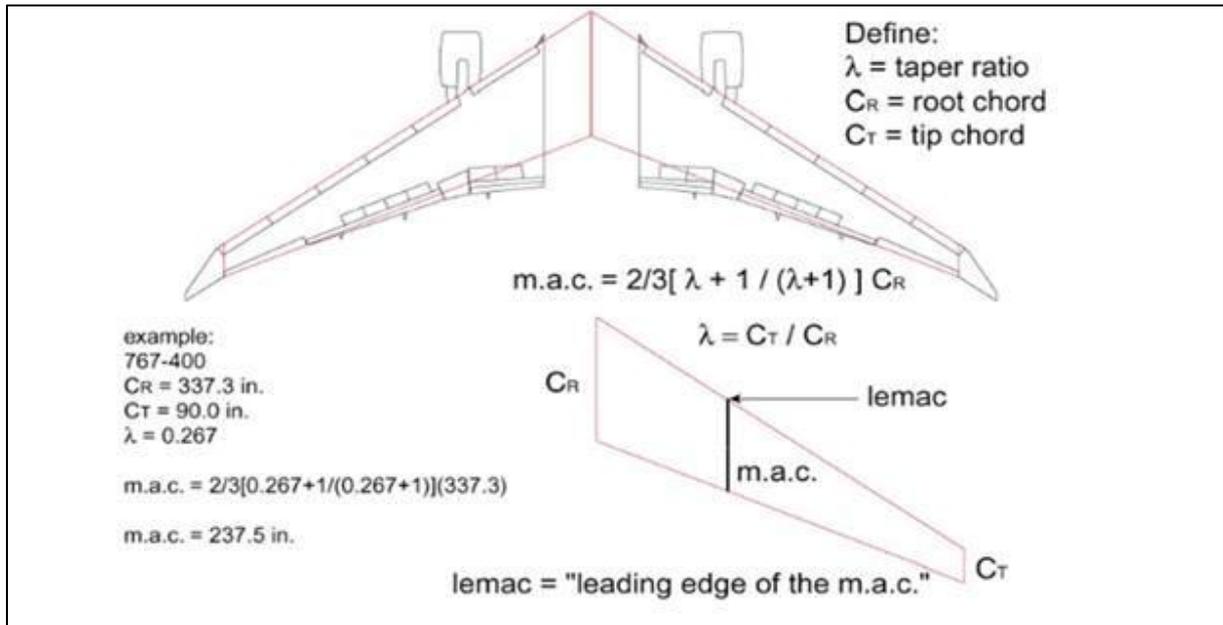


Figure I.5 : exemple de calcul de MAC.

C_r = la corde de l'extrémité de l'aile.

C_t = la corde de l'emplanture

λ = l'effilement

Nous pouvons convertir entre BA la distance de l'avion donnée est appelée (bras de la balance et MAC% comme suite)

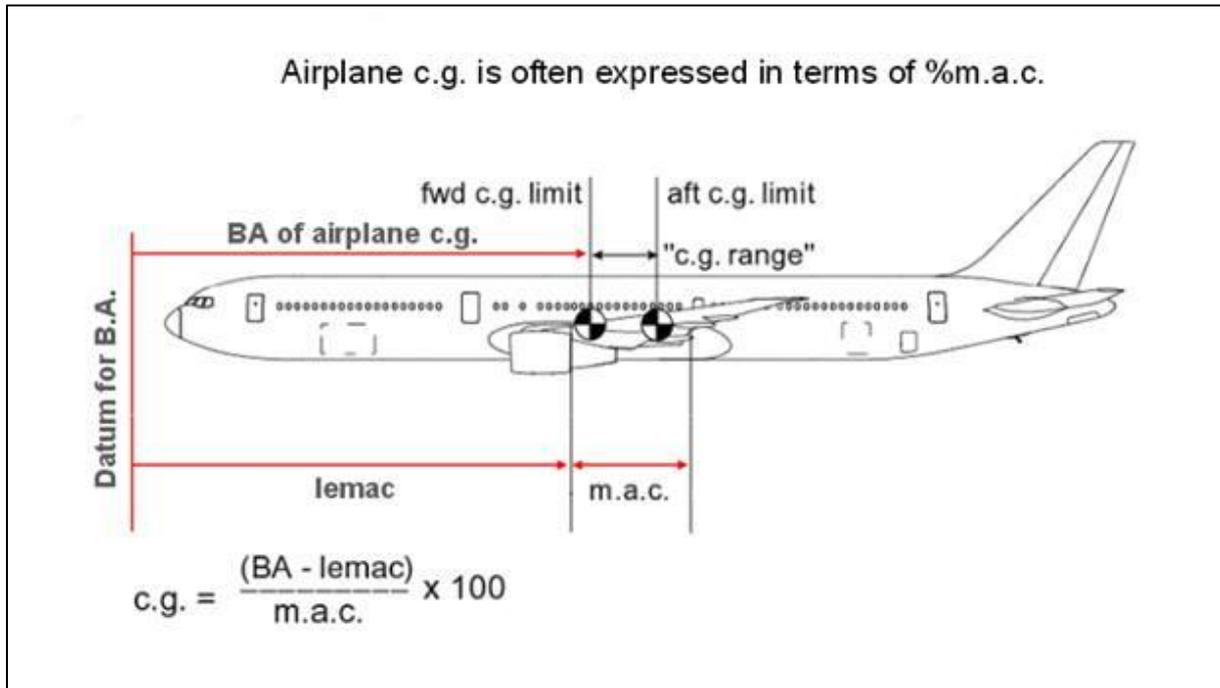


Figure I.6 : la relation entre MAC et BA

I.7 INDEX :

C'est quoi Index?

Sommation des *moments* est nécessaire pour déterminer le centre de gravité net pour une charge d'avion

- Une équation Index est utilisée pour simplifier la présentation des données du moment
- Index est *actuellement* mis à l'échelle à une pratique amplitude qui est facile à additionner et soustraire

Le totale des moments sont relativement importants . Ils peuvent être plus facile à gérer en divisant les résultats de moment par une «constante de moment». Les résultats seront en termes de Δ index (un nombre qui n'a pas d'unités).

Sachant que dans notre étude pour le B 737 800 le moment constant est de 30000 kg-inch

-Les valeurs sont positives et négatives

- Pour convertir à partir d'une échelle de MAC% à l'index, une équation d'index doit être développée

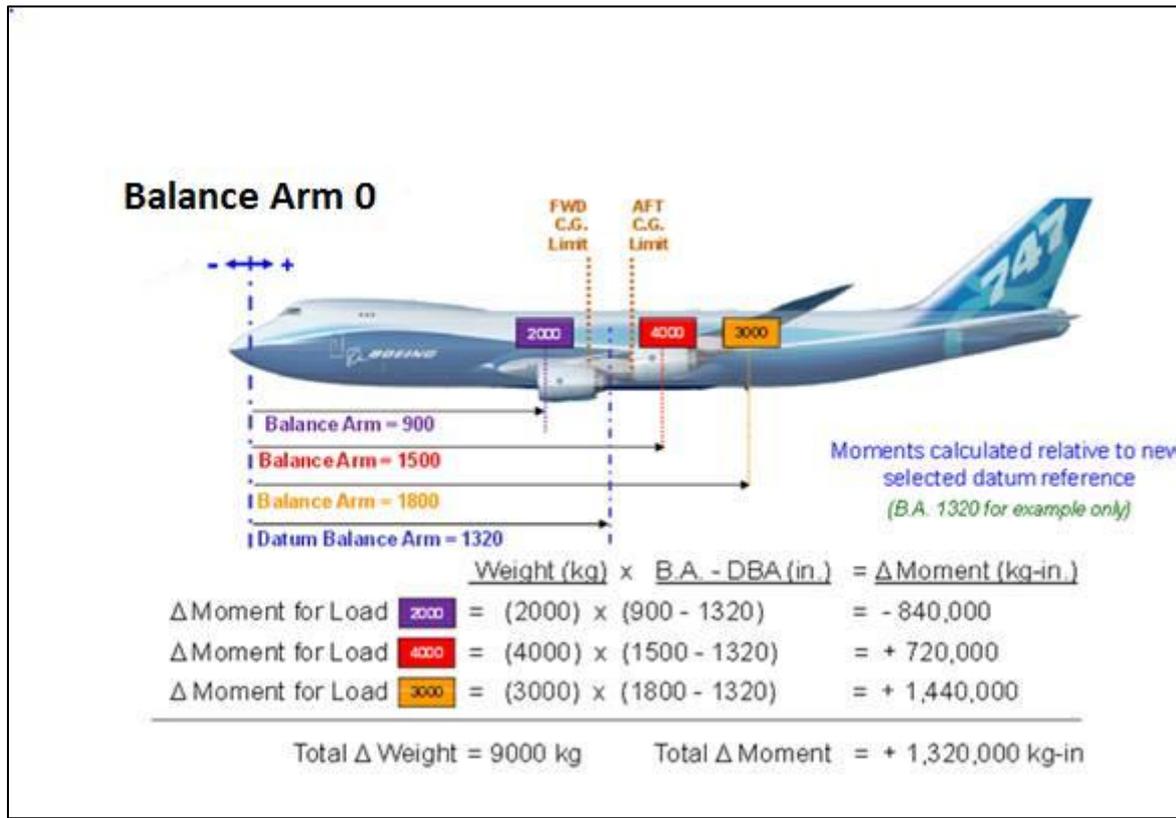


Figure I.7: Moments calculés pour un chargement de l'avion

$$index = \frac{weight * (Balance Arm - Datum Balance Arm)}{Moment Constant} + Datum Constant$$

$$\Delta index = \frac{weight * (Balance Arm - Datum Balance Arm)}{Moment Constant}$$

Autrement dit :

Index = Δ index + Datum constant

Sachant que la sélection des constantes d'équation d'index est réalisée par le concepteur d'un calendrier de chargement donné:

- Le «*Moment Constant*» avec laquelle tous les moments sont divisés est sélectionné pour créer une échelle d'index désirée (par exemple, échelle de 0 à 100, ou 100 à 1000).

- Le «Datum Constant» est une valeur à ajouter lors de la conversion l'enveloppe CG de% MAC à l'index

Index universel :

- Mathématique addition / soustraction de poids en utilisant la feuille de charge (généralement le même format comme alignement par feuille de charge)
- addition mathématique / soustraction de Δ index valeurs pour déterminer le centre de gravité de l'avion
- Contrôle graphique de la TOW avion & TOWCG et ZFW & ZFWCG pour assurer que les opérations sont dans les limites de CG

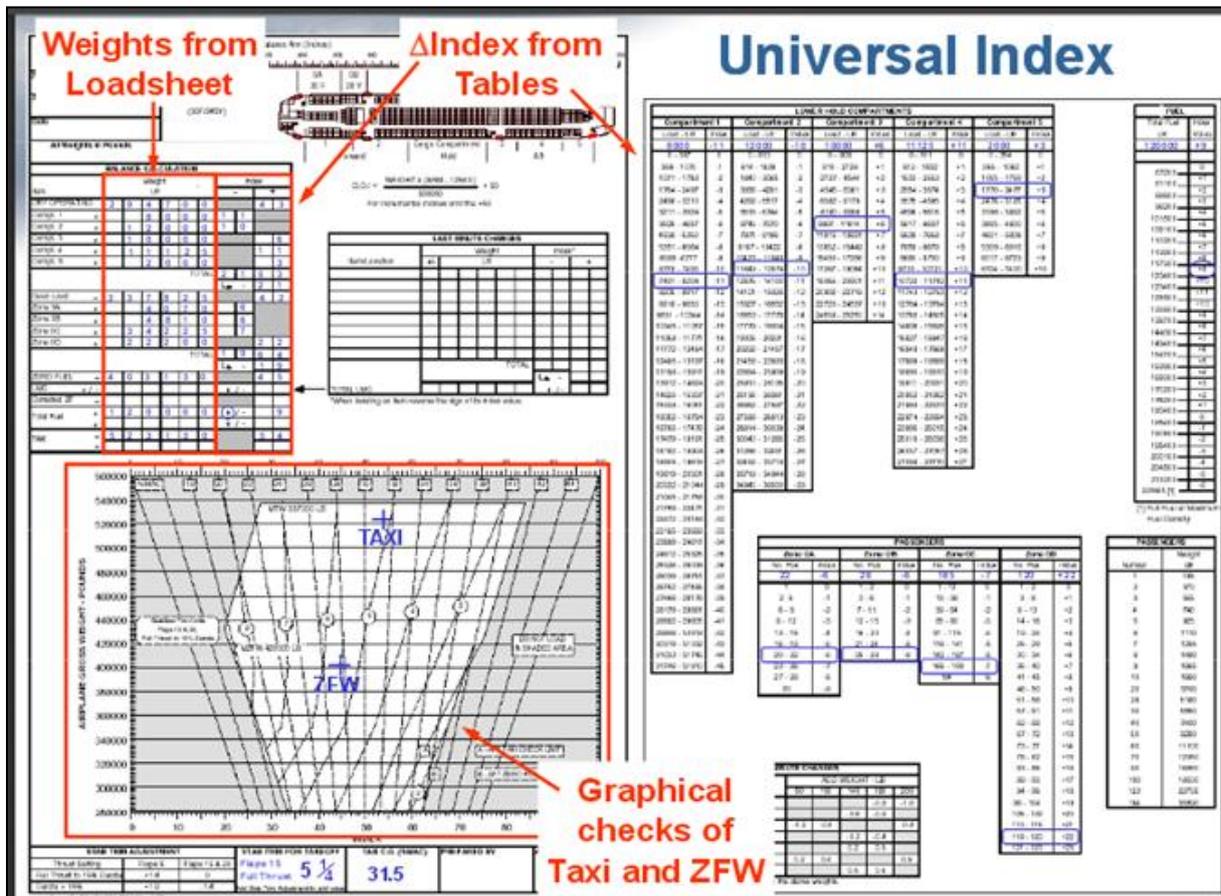


Figure I.8 : L'index universel

(example of Δ index for loading of passengers)

BALANCE CALCULATION									
Item	Weight LB					Index			
						-			+
DRY OPERATING	2	9	4	7	0	0		4	3
Compt. 1 +			8	0	0	0	1	1	
Compt. 2 +			1	2	0	0	0	1	0
Compt. 3 +			1	0	0	0	0		6
Compt. 4 +			1	1	1	2	5		1
Compt. 5 +			2	0	0	0			3
	TOTAL					2	1	6	3
						L	-	2	1
Dead Load =	3	3	7	8	2	5		4	2
Zone OA +			4	0	7	0		6	
Zone OB +			4	8	1	0		6	
Zone OC +			3	4	2	5		7	
Zone OD +			2	2	2	0		2	2
	TOTAL					1	9	6	4
						L	-	1	9
ZERO FUEL =	4	0	3	1	3	0		4	5
LMC + / -								+ / -	
Corrected ZF =									
Total Fuel +	1	2	0	0	0	0	(+)	-	9
								+ / -	
TAXI =	5	2	3	1	3	0		5	4

PASSENGERS									
Zone OA		Zone OB		Zone OC		Zone OD			
No. Pax	Index	No. Pax	Index	No. Pax	Index	No. Pax	Index		
22	-6	26	-6	185	-7	120	+22		
1	0	1-2	0	1-12	0	1-2	0		
2-5	-1	3-6	-1	13-38	-1	3-8	+1		
6-8	-2	7-11	-2	39-64	-2	9-13	+2		
9-12	-3	12-15	-3	65-90	-3	14-18	+3		
13-15	-4	16-20	-4	91-115	-4	19-24	+4		
16-19	-5	21-24	-5	116-141	-5	25-29	+5		
20-22	-6	25-28	-6	142-167	-6	30-34	+6		
23-26	-7			168-193	-7	35-40	+7		
27-29	-8			194	-8	41-45	+8		
30	-9					46-50	+9		
						51-56	+10		
						57-61	+11		
						62-66	+12		
						67-72	+13		
						73-77	+14		
						78-82	+15		
						83-88	+16		
						89-93	+17		
						94-96	+18		
						99-104	+19		
						105-109	+20		
						110-115	+21		
						116-120	+22		
						121-123	+23		

Figure I.09 : Exemple de chargement des pax

Avantages de l'index universel :

- Les modifications apportées à des tables peuvent être faciles
- Dossier permanent

Inconvénient de l'index universel :

- À l'exception de (+) dans une colonne et (-) d'une autre colonne, difficile à visualiser le changements de moment
- addition mathématique et la soustraction requise des utilisateurs

Enveloppe certifiée :

C'est les limites avant et arrière autorisées du centre de gravité d'un avion qui sont sous contraintes suivantes :

- Limitations certifiées de masses : MTW, MTOW, MLW, MZFW.
- Limitations structurelles imposées par des différentes parties de la structure d'avion.
- Limitations additionnelles imposées afin de maintenir le contrôle de l'avion durant les opérations.

Conception de l'enveloppe opérationnelle :

L'enveloppe opérationnelle est constituée par des marges appliquées à l'enveloppe certifiée pour compenser des déviations et des erreurs.

Les marges opérationnelles s'appliquent à toutes les catégories d'avions. Certains Constructeurs fournissent des outils qui permettent à l'exploitant de calculer ses marges opérationnelles. Il n'est pas obligatoire d'avoir recours à la méthode du constructeur.

En effet, Airbus et Boeing ont documenté l'ensemble des informations nécessaires à l'élaboration de ces marges.

CHAPITRE II :
CONCEPTION DE
L'ENVELOPPE
OPERATIONNELLE

II.1.INTRODUCTION :

Les limites opérationnelles sont créées pour que les limites de centre de gravité des aéronefs ne seront pas hors des limites certifiées.

Les limites opérationnelles sont développées en ajoutant des Curtaillments aux limites certifiées sachant que les Curtaillments sont moins la différence entre l'état potentiel le plus défavorable pris par le constructeur et l'état de calcul .

Curtaillment prend en compte les changements possibles et connus dans le centre de gravité de l'avion.

NB :le terme technique souvent utilisé pour exprimer la pénalisation est en anglais curtaillment

Pour calculer les coordonnées des points de l'enveloppe opérationnelle, on a traité les cas suivants :

- Mouvement Trains d'atterrissage
- Mouvement Des volets
- L'embarquement des passagers
- Chargement de carburant
- Les changements des dernières minutes

Enveloppe certifiées et différentes points significatifs

L'application des pénalisations 'curtaillments' se fera en ajustant les coordonnées des points significatifs de l'enveloppe certifiées ,ci –dessous l'enveloppe certifiées du B737-800 de TAL publié dans le WBM

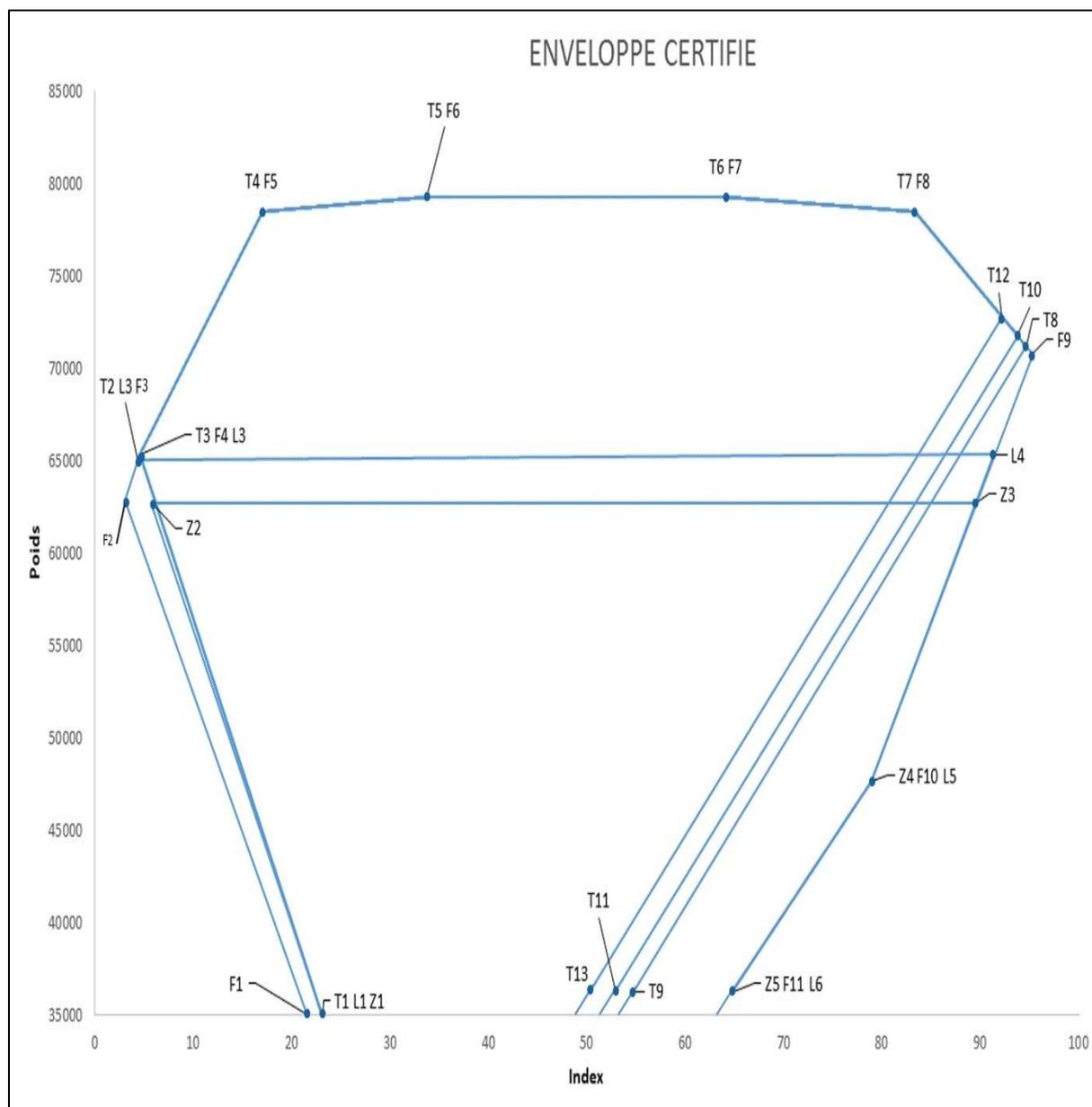


Figure II.1 Enveloppe certifiées d'un B737 -800

II.2.LES MOUVEMENTS DES TRAINS D'ATTERRISSAGE :

II.2.1.Définition :

Le train d'atterrissage consiste à permettre les évolutions au sol jusqu'au décollage (remorquage, taxi...), l'amortissement de l'impact d'atterrissage, et, grâce à un système de freinage associé, l'arrêt de l'avion sur une distance acceptable.

Le train d'atterrissage peut parfois être équipé de skis ou de flotteurs si l'appareil doit amerrir ou atterrir sur la neige.

Durant les phases du vol, si le train d'atterrissage ne se replie pas, le train est fixe, sinon, il est rétractable et rentre pour diminuer la résistance à l'air. Il se loge alors dans la case à train d'atterrissage qui peut se trouver dans le fuselage ou dans les ailes. De là, on pourra avoir deux configurations avec les quelle on pourra calculer

II.2.2.Méthode de calcul de Δ index :

On a deux configurations à traiter

- Train sortie
- Train entré

En exploitant les données des tableaux ci-dessous pour avoir le bras de levier et poids de chaque train .

Ces tableaux sont extraits de WBM du B737-800 de tassili Airlines :

COMPOSANTE DE TRAIN ARRIERE	POID (KG)	BA (inch)
Lower Torsion Link	9	694
Shimmy Damper	5	685
Wheel and tire assembly high capacity steel brakes	166	707
Wheel and tire assembly carbon brakes	168	707
Upper Torsion Link	8	692
Centre Door	9	696
InboardDoor	10	697
OutboardDoor	4	695
Main GearActuator	21	701
WalkingBeam	10	700
Reaction Link	44	703
Somme	SOMMME= 454	MOYENNE= 697,9

Tableau II.1 : Les composantes de train arrière.

LES COMPOSANT DE TRAIN AVANT	POID (KG)	BA (inch)
Wheel and tire Assembly	28	93
Steering plate and Collar	25	89
SteeringActuator	7	77
Steering valve	17	82
Lower drag Brace Link	5	80
NoseGearRetractActuator	13	66
Upper drag Brace Link	18	68
UplockDownlock Link	5	85
Uplock Down LockActuator	2	95
UpperTorsion Link	4	101
Lower torsion Link	5	102
ShockStrut	96	92
Somme	SOMME= 225	MOYENNE=85,83

Tableau II.2 : Les composantes de train avant.

Donc on aura les résultats ci –dessous pour :

	poids (kg)	BA (inch)
Train arrière	454	697.9
Train avant	225	85.83

Tableau II.3 : La masse et le bras de levier de train avant et arrière.

Chapitre II Conception de l'Enveloppe Opérationnelle

Ce tableau ci-dessous est extrait de WBM du B737-800 de tassili Airlines :

Train	Changement de moment delta moment
Arrière	-11570
Avant	-6580

TABLEAU II.4 le changement de moment pour chaque train lors de son mouvement

Train avant :

$$index = weight * \frac{(balancearm - 658.3)}{30000} \dots\dots\dots (1)$$

$$Index_{1(sortie)} = \frac{225 * (85.83 - 658.3)}{30000}$$

$$Index_{1(sortie)} = -4.29$$

Index_{2 (entré)}

$$\Delta BA = \frac{delta\ moment}{weight}$$

$$\Delta BA = \frac{-6580}{225}$$

$$\Delta BA = -29.24$$

$$BA_2 = BA_1 + \Delta BA$$

$$BA_2 = 85.83 - 29.24$$

$$BA_2 = 56.63$$

On remplace dans (1) pour avoir :

$$Index_2 = \frac{225 * (56.63 - 658.3)}{30000} = -4.51$$

Donc le

$$\Delta index_{Train\ avant} = index_1 - index_2$$

$$\Delta index_{Train\ avant} = (-4.29) - (-4.51)$$

$$\Delta index_{Train\ avant} = +0.22$$

Train arrière :

De la même façon on calcule le delta index pour le train arrière : on a deux configurations à prendre en considération : (sortie, entrée)

$$\text{Index} = \text{weight} \times \frac{(\text{balanceArm} - 658.3)}{30000} \dots (1)$$

$$\text{Index}_{1(\text{Sortie})} = \frac{454(697.9 - 658.3)}{30000} = 0.59$$

Index_{2(entré)} :

$$\Delta BA = \frac{\text{delta moment}}{\text{weight}}$$

$$\Delta BA = \frac{-11570}{454}$$

$$\Delta BA = -25.48$$

$$BA_2 = 697.9 + (-25.48)$$

$$BA_2 = 672.42$$

On remplace dans (1)

$$\text{Index}_{2(\text{entrée})} = \frac{454(672.42 - 658.3)}{30000} = 0.21$$

Donc le

$$\Delta \text{index}_{\text{Train arrière}} = \text{index}_1 - \text{index}_2$$

$$\Delta \text{index}_{\text{Train arrière}} = 0.59 - (0.21) = 0.38$$

Finalement :

$$\Delta \text{index}_{\text{train}} = \Delta \text{index}_{\text{avant}} + \Delta \text{index}_{\text{arrière}}$$

$$\Delta \text{index}_{\text{train}} = 0.22 + 0.38$$

$$\Delta \text{index}_{\text{train}} = 0.6$$

NB : Le delta index trouvé est appliqué pour les points F₁ et F₆

II.3.LES MOUVEMENTS DES VOLETS :**II.3.1.principe de fonctionnement des volets :****Le bord de fuite des volets :**

Ils sont comme les ailerons, fixés au longeron arrière sur lequel ils s'articulent. Les modèles simples, d'intrados, et à fente(s), pivotent simplement, tandis que les volets Fowler se déplacent vers l'arrière et s'abaissent augmentant ainsi aussi bien la surface de l'aile que sa courbure.

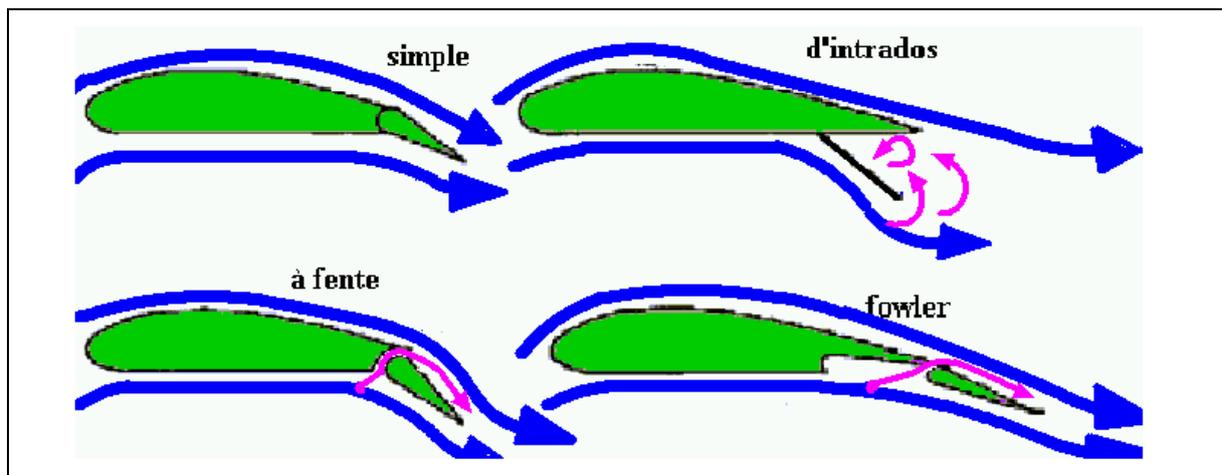


Figure II.2 : Le bord de fuite des volets.

- Pour Le volet simple augmente la portance en augmentant la courbure de l'aile.
- Le volet d'intrados fait de même, mais avec le désavantage de produire plus de traînée (formation d'une zone de turbulence derrière le volet, genre traînée de culot).
- Le volet à fente(s) augmente la portance en augmentant la courbure de l'aile, comme les précédents, mais la présence d'une ou plusieurs fentes permet un soufflage de "l'extrados" du volet, ce qui permet d'y diminuer les risques de formation de turbulences, et de décrochage de la couche limite
- Le volet Fowler est un volet à fente(s) qui en plus augmente la surface à l'aire, car il recule d'abord en sortant de son logement et pivote ensuite.

Les dispositifs de bord d'attaque :

Rappelons qu'il en existe plusieurs modèles différents.

- 1) Le volet de bord d'attaque ou bord d'attaque basculant : Simple bord d'attaque articulé sur le longeron avant qui en s'abaissant, augmente la courbure de l'aile.
- 2) Le volet Kreuger surface pivotante qui s'abaisse sous le bord d'attaque, il augmente simplement la courbure de l'aile, mais certains volets Kreuger sont composés de plusieurs

sections qui en se déployant largement augmentent aussi la surface. Les volets Kreuger sont régulièrement utilisés sur les avions Boeing.

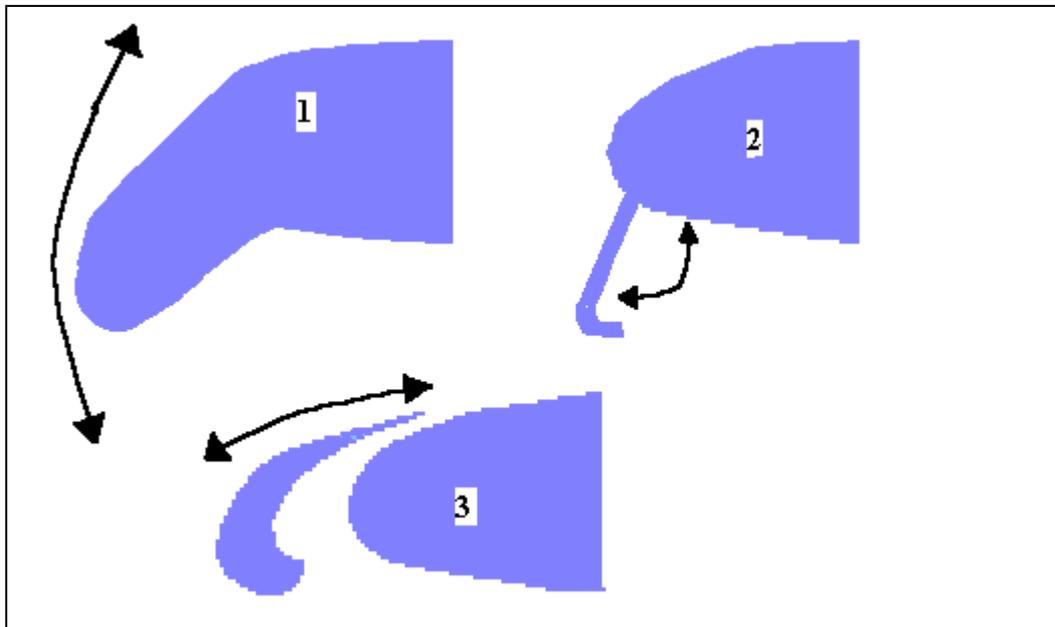


Figure II.3 : Les volets Kreuger.

3) Le bec d'aile à fente (ou slat à fente). C'est un bec d'attaque mobile qui se déplace vers l'avant pour laisser apparaître une fente entre lui et l'aile. Cette fente permet le soufflage de la partie avant de l'extrados pour retarder l'apparition d'un écoulement turbulent, surtout aux grands angles d'attaque.

Ce dispositif a la particularité d'exister aussi en version automatique, c'est à dire non commandée par le pilote. Dans ce cas, le bec à fente subit en permanence la pression d'un ressort qui tend à le faire sortir de son logement et tant que la pression dynamique est suffisante, le bec à fente est repoussé contre le bord d'attaque fixe de l'aile, mais dès que la vitesse descend en dessous d'une certaine valeur, la pression dynamique n'est plus suffisante pour contrer la force du ressort, et le "slat" s'avance.

L'augmentation de l'angle d'attaque diminue aussi la pression agissant directement sur le bec, et donc favorise sa "sortie". De plus, il faut savoir que certains avions ont un bord d'attaque fixe avec une fente permanente fixe.

Voilà une image qui montre bien les dispositifs hypersustentateurs de bord d'attaque (slats), ET de bord de fuite (flaps).

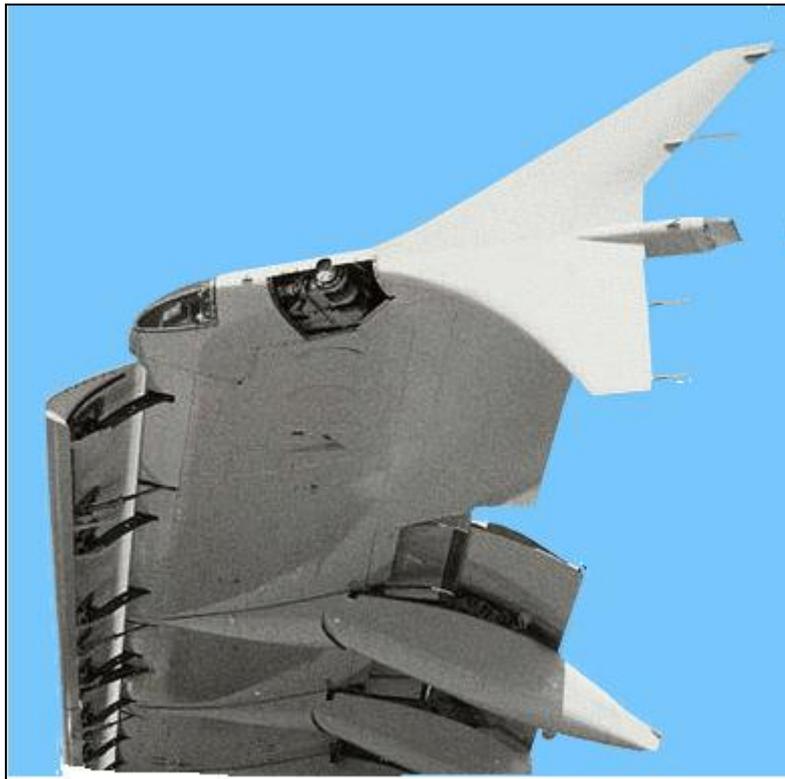


Figure II.4 : les dispositifs hypersustentateurs de bord d'attaque (slats),et de bord de fuite (flaps).

Les déporteurs, ou destructeurs de portance :

Les ailerons ne sont pas toujours irréprochables dans leur fonction de commande en roulis.

Rappelez-vous le lacet inverse, par exemple, ou encore, l'inversion d'ailerons à haute vitesse. Pour être efficaces à basse vitesse, ils doivent être bien dimensionnés, et donc occuper une place relativement importante qui pourrait être utilisés pour des volets.

Il serait peut-être intéressant de les assister par un autre système qui n'aurait pas les mêmes inconvénients. Ce système, ce sont les déporteurs Il s'agit des surfaces mobiles sur l'extrados de l'aile, qui en se relevant altèrent fortement l'écoulement, provoquant une forte dégradation de la portance, et une grande traînée aérodynamique.

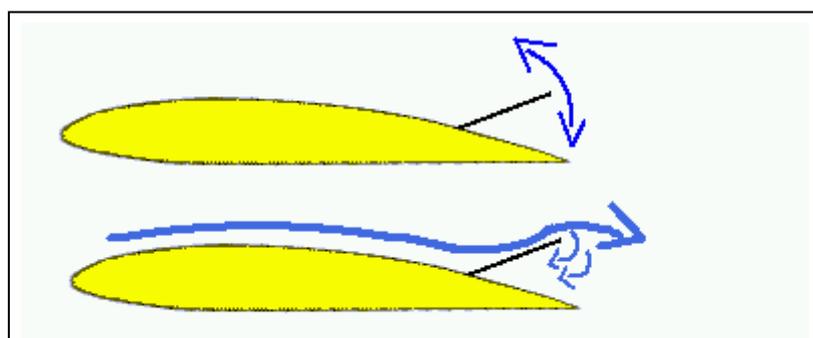
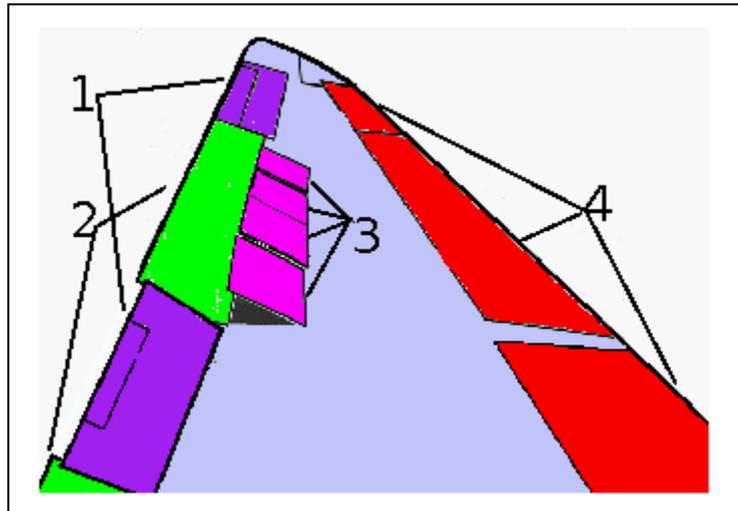


Figure II.5 : Les déporteurs.

Vu d'un autre angle :



FigureII.6 : Les composantes de la voilure.

- 1) Ailerons,
- 2) flaps,
- 3) déporteurs,
- 4) slats.

Lorsque les déporteurs sont actionnés, ils diminuent la portance de l'aile sur laquelle ils sont et provoquent son "abaissement". S'ils ne sont actionnés que sur une seule aile, l'abaissement de cette seule aile provoque un roulis, comme ceci :

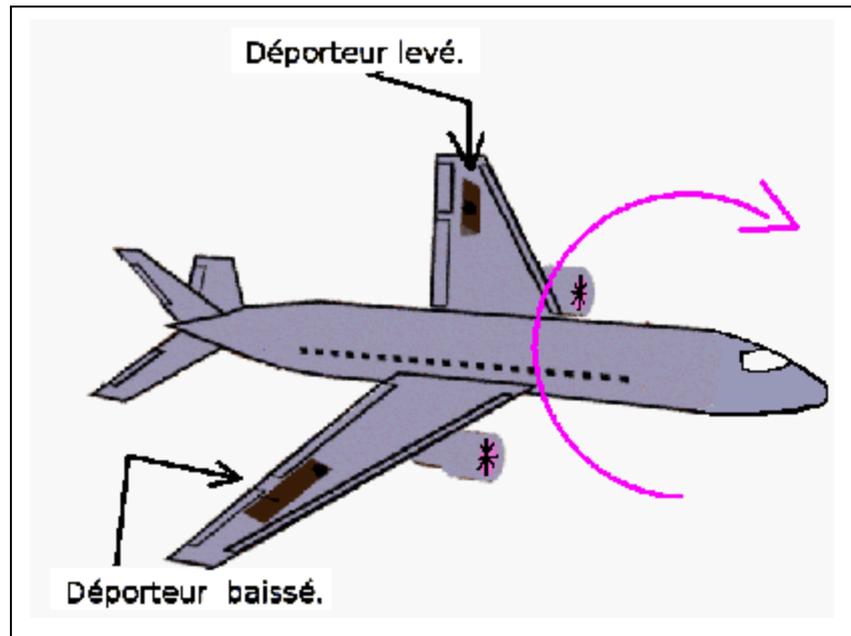


Figure II.7 : La production de mouvement de roulis.

Les déporteurs peuvent aussi bien servir au contrôle en roulis en vol (on parle alors de déporteurs vol), qu'à la destruction de la portance au sol après le toucher (début d'atterrissage), afin d'augmenter la pression sur le sol, et donc rendre le freinage des roues plus efficace (on parle alors de déporteurs sol).

Comme on l'a dit plus haut, les déporteurs ne produisent pas de lacet inverse (à la limite, ça pourrait être le contraire), ni d'inversion de gouverne à haute vitesse.



Figure II.8: Déporteurs vol.



Figure II.9 : Déporteurs sol.

Les volets Fowlers étant *reculés* et baissés, ils ont dégagé un espace par lequel on peut voir le sol sous les déporteurs levés.

Lorsque les déporteurs sont bien levés, ils agissent aussi comme de puissants aérofreins.

Ils sont commandés par le manche dans leur fonction de contrôle en roulis et par la manette de commande d'aérofrein dans leur fonction de destructeur de portance et d'aérofrein, ils se lèvent alors simultanément.

Il en existe deux types :

- Ceux qui ne peuvent servir qu'à une seule fonction à la fois ; ils ne peuvent, par exemple, pas servir au contrôle en roulis s'ils sont déjà levés tous les deux ensemble pour la fonction d'aérofrein et/ou de destructeur de portance. (Déporteurs non différentiels).
- Ceux qui peuvent remplir les fonctions de contrôle en roulis et d'aérofreins en même temps (déporteurs différentiels).

Une bonne compensation d'un déséquilibre constant en roulis (mauvaise répartition latérale des charge) ne pouvant se faire que grâce à des dispositifs d'ailerons, le contrôle en roulis n'est presque jamais (et même absolument jamais pour les gros avions) assuré par les seuls déporteurs. L'usage de déporteurs pour la fonction de compensation serait contre-productif compte tenu de la traînée aérodynamique importante générée par les déporteurs, car une compensation se fait de manière continue pendant une longue période, parfois même sur toute la durée du vol.

Phase opérationnelle	Position des volets
Zéro fuel	Varie
Taxi	Varie
Take-off	Varie
Flight	Varie
Landing	Varie

Tableau II.5 : La variation de position des volets en fonction des phases de vol

II.3.2.Méthode de calcul de Δ index :

Le tableau suivant présente les variations des moments de centre de gravité d'avion causés par le bord d'attaque (the LeadingEdge L.E) et le bord de fuite (the Trailingedge T.E)

La position des volets		Moment Kg-in		
From	To	L.E	T.E	Total
40	30	0	-380	-380
40	25	0	-1920	-1920
40	15	0	-1990	-1990
40	10	0	-2760	-2760
40	5	+1990	-3910	-1920
40	2	+1990	-6370	-4380
40	1	+1990	-7060	-5070
40	0	+5750	-11680	-5930

Tableau II.6 : Le moment de rétraction des volets.

On va prendre le moment le plus pénalisant c.à.d. (Le max)

Curtailement= - maximum moment

$$\Delta_{index} = \frac{\text{curtailement}}{\text{Momentconstant}} = \frac{+5930}{30000} = +0.1976$$

NB :Le delta index trouvé est appliqué pour les points T₁,T₅,Z₁,Z₂,F₁,F₆.

II.4.LE MOUVEMENT DES PASSAGERS :

II.4.1.Théorie de l'emplacement des passagers :

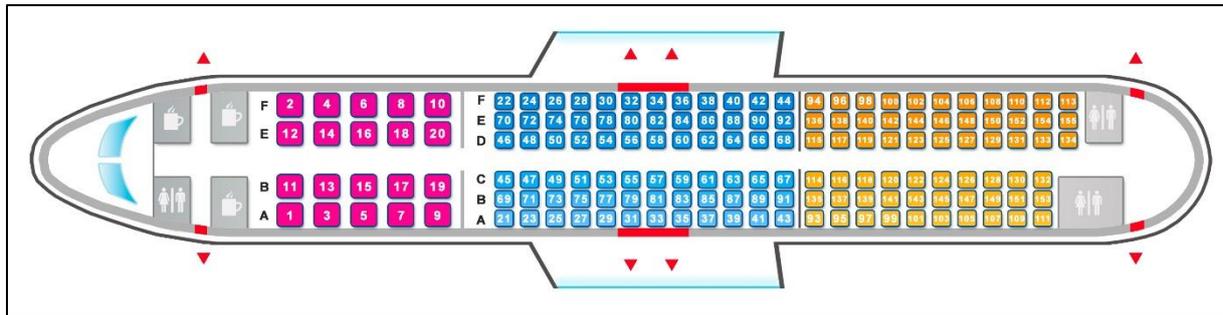


Figure II.10 : hypothèse de l'emplacement des passagers dans B737-800

L'opérateur doit tenir compte du placement des passagers dans la cabine. L'enveloppe de charge n'a pas besoin d'être réduite si l'emplacement du siège réel de chaque passager est connu. Si le siège assigné est utilisé pour déterminer l'emplacement des passagers, l'exploitant doit mettre en place des procédures pour veiller à ce que l'attribution des sièges passagers est incorporée dans la procédure de chargement. Il est recommandé que l'opérateur prenne en compte la possibilité que certains passagers ne peuvent siéger dans leurs sièges attribués.

Curtaillment est affecté par :

- Nombre de zones définies
- Définition du bras de la balance de référence de la zone (ZONE DATUM BALANCE ARM)
- Lieu de sièges passagers occupé
- poids moyen d'un passager présumé

II.4.2.Méthode de calcul de Δ index :

Après avoir élaboré notre hypothèse designer au-dessus on a abouti au Δ index pour chaque zone sachant qu'on a pris le maximum pour être dans des meilleures conditions de sécurité donc

(voir l'annexe pour mieux comprendre la méthode de calcul) on utilise les DELTA index pour le calcul du DELTA index total

Sachant que le curtaillment =- maximum moment

	Nb de pax	Dzone (inch)	Apax (inch)	Apax-Dzone	Poids KG	Delta moment (Kg/inch)	Somme Moment (kg/inch)	Moment constant (kg/inch)	curtailment	Delta index
ZO NE OA	16	242	23 4	-8	8 4	-672	-19236	30000	19236	0.6412
ZO NE OB	80	496	47 4	-22	8 4	-1848	-99540	30000	99540	3.318
ZO NE OC	146	843.5	84 2	-1.5	8 4	-126	-102732	30000	102732	3.4244

Tableau II.7 : Résumé de calcul de Δ index pour chaque zone

Zone d'emplacement des passagers	DELTA index maximum
ZONE OA	0.6412
ZONE OB	3.318
ZONE OC	3.4244
Total	7.3836

Tableau II.8 : le delta index maximum de chaque zone

NB :Le delta index trouvé est appliqué pour tous les points.

II.5.LECHARGEMENT CARBURANT :

L'enveloppe opérationnelle de l'opérateur doit tenir compte des effets de carburant.

II.5.1.les critères de carburant affectant le centre de gravité de l'aéronef :

- densité du carburant
- mouvement de carburant
- la consommation de carburant en vol

Ces différences peuvent être causées par 2 contributions

1. variation de densité de carburant par rapport au vecteur de carburant de référence / nominale utilisée pour calculer Δ index avec quantité donnée de carburant chargée
2. carburant brûlé pendant le roulage

Le curtailment l'or de chargement de carburant dépend

- Des hypothèses utilisées dans le chargement du combustible de référence (celui utilisé pour créer la table delta index pour le chargement du combustible)

- carburant recommandé l'ors de la procédure de chargement
- densité de carburant nominale sélectionnée

-Les densités de carburant devaient être couvertes par le plan de chargement (peut être inférieure ou égale à la densité certifiées)

-montant nominal choisi pour le taxi, la consommation de carburant

-si le calendrier de chargement est conçu pour vérifier le décollage ou les conditions en taxi de poids et Centre de gravité

II -5-2.Méthode de calcul de Δ index :

A partir des deux tableaux extrait de weight and balance manuel on va prendre le v_{max} du réservoir arrière parce que l'hypothèse traitée ci-dessous le montre très bien :

Tableau représente les quantités de carburant et leurs bras de levier pour le réservoir de centre

Volume L	BA inch	Volume L	BA inch
400	610.2	8800	605.9
800	609.8	9200	605.9
1200	608.3	9600	606.3
2000	607.1	10000	606.3
2400	606.3	10400	606.3
2800	605.5	10800	606.3
3200	605.1	11200	606.7
3600	605.1	11600	606.7
4000	604.7	12000	606.7
4400	604.7	12400	606.7
4800	604.7	12800	606.7
5200	604.7	13200	606.7
5600	604.7	13600	606.7
6000	605.1	14000	606.7
6400	605.1	14400	606.3
6800	605.1	14800	606.3
7200	605.5	15200	606.3
7600	605.5	15600	605.9
8000	605.5	16000	605.5
8400	605.9	16273	605.4

Tableau II.9 : les quantités de carburant et leurs bras de levier pour le réservoir de centre

Volume L	BA inch	Volume L	BA inch
400	656.7	5200	668.1
800	656.7	5600	670.1
1200	657.1	6000	672.0
1600	657.9	6400	674.4
2000	658.7	6800	676.8
2400	659.4	7200	679.1
2800	660.6	7600	681.9
3200	661.4	8000	685.0
3600	662.4	8400	688.2
4000	663.4	8800	691.3
4400	664.6	9200	694.9
4800	666.1	9600	698.8
9751	700.2		

Tableau II.10 : les quantités de carburant et leurs bras de levier pour les deux réservoirs principaux (1+2)

Sachant que le chargement de carburant se fait à partir des deux réservoirs principaux 1+2 allant vers le réservoir de centre

pour un volume =9751 L c.à.d.(les deux réservoir 1+2 sont plein) On aura un bras de levier ou bien BA =700.2 inch , ce dernier génère un moment qui mène vers l'extérieure de l'enveloppe certifiée et on chargeant le centre on remarque l'impossibilité d'avoir un bras de levier plus de 700.2 inch cela est expliqué par le fait que les autre quantités de carburant génèrent des moment vers l'intérieure de l'enveloppe certifiées .

Donc une fois on a remplis les deux réservoirs principaux on a le cas le plus critique

Et de même pour le déchargement parce qu'on consomme d'abord le carburant dans le réservoir de centre.

Donc de là, on pourra dire que le faite d'étudier le cas des 2 réservoirs arrières donc on a étudié le cas le plus critique.

$$\text{Et } D = \frac{\rho}{\rho_{\text{air}}}$$

$$\rho_{\text{air}} = 1 \text{ KG/L}$$

$$\text{Donc } \rho = \frac{1}{D}$$

Et on a aussi

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Chapitre II Conception de l'Enveloppe Opérationnelle

Potentiel= carburant au début de roulage

Calculer = carburant au décollage

Et on a aussi le carburant consommé est de 200KG

De là on aura $v=200/1.234 =162.074\text{KG}$

V calculer = $9751-162.074=9588.926\text{L}$

Et le bras de levier de $v_{\text{calculé}}$ est trouvé par l'interpolation entre ces deux valeurs mentionnés dans le tableau ci-dessous

Volume en L	BA inch
9200	694.9
9588.926	698.683
9600	698.8

Tableau II.11 : On place ces données dans le tableau suivant pour calculer directement le delta index

Condition	Volume de carburant(L)	Densité de carburant	Poids de carburant	BA (inch)	Moment (kg/inch)
Potentiel	9751	0.8507	11457.42	700.2	8022485.48
Calculer	9588.926	0.8100	11832.734	698.683	8267330.09
Différence = potentiel – calculer			-375.314	1.517	-244844.61

Tableau II.12 : Calcul de moment

Donc :

$$\Delta index = \frac{\text{curtalement}}{\text{moment constant}}$$

$$\Delta index = \frac{244844.61}{30000}$$

$$\Delta index = +8.161$$

NB : Le delta index trouvé est appliqué pour les points T_7, T_8 .

II.6.CHANGEMENT DERNIERE MINUTE :

II.6.1.Introduction :

Les Modifications de dernière minute sont des éléments chargés ou déchargés après que la paperasse concernant le centrage est déjà achevée.

Modifications de dernière minute sont généralement enregistrées sur l'état de charge pour les horaires de chargement manuel.

Tout changement de dernière minute après l'achèvement de la documentation de masse et centrage, doit être porté à l'attention du commandant de bord et le changement de dernière minute doit être inscrit sur la documentation de masse et centrage.

Le changement de dernière minute maximum autorisé de nombre de passagers ou de charge admise en route doit être spécifié dans le Manuel des opérations .Si ce nombre est dépassé, une nouvelle documentation de masse et de centrage doit être préparée.

Trois principaux domaines de limitations de poids et l'équilibre de chargement doivent être vérifiés pour assurer l'envoi en toute sécurité d'un aéronef.

- les masses maximales autorisées ne sont pas dépassées
- limitations maximales de chargement ne sont pas dépassées
- les limites certifiées de CG d'aéronefs ne sont pas dépassées de démarrage du moteur jusqu'à ce que le moteur s'arrête

Les compagnies aériennes devraient avoir des procédures en place pour assurer que ces limites de l'aéronef ne sont pas dépassées suivant simplement comme ils le font pour le chargement initial de l'aéronef tout LMC.

Boeing ne comprend pas de poids ou «allocations» de CG dans les limites de WBM publié pour expliquer les LMC.

Boeing historiquement n'a pas inclus les modifications des curtailment dans le cas dernier minute dans les horaires de chargement qu'il a produits pour les operateurs.

Les Compagnies aériennes utilisant un calendrier de chargement crier par Boeing devrait révérifier la CG après tout LMC et de s'assurer que les enveloppes de CG opérationnelles ne sont pas dépassées.

Le centre de gravité de avion doit être vérifié de nouveau après tout LMC à moins que les curtailments ont été inclus dans le développement de l'enveloppe du CG opérationnelle.

Si le calendrier de chargement a inclus ces curtailments, et si le total LMC est inférieur ou égal au maximum permis déclaré incorporer dans le calendrier de chargement donné, pas de ré-vérification de CG serait nécessaire.

Curtaillments LMC compte pour le centre de gravité de l'avion des changements qui se produisent en raison de chargement ou de déchargement, des articles après les vérifications initiales de décollage et ZFW CG ont été complétées.

Curtaillments LMC s'appliqueraient à toutes les limitations de CG pour taxi, décollage, vol, l'atterrissage et zéro carburant.

Boeing ne fournit pas de quantités maximales recommandées pour LMC de chaque compagnie aérienne individuelle doit choisir les quantités maximales qui correspondent le mieux à leurs besoins opérationnels.

Choix de grande LMC sans que CG recalculé admissible se traduira par des exigences de curtailment plus grandes que pour les choix de petit LMC.

Certains opérateurs choisissent un permis LMC maximale même si leur politique est de recalculer le CG afin de minimiser l'ampleur des erreurs possibles dans un calcul précipité.

Certains opérateurs limitent le maximum LMC même lorsque curtailments sont inclus pour minimiser l'erreur

Le compensateur du stabilisateur ne sera pas ajusté pour la LMC, car un nouveau CG ne se calcule pas.

II -6 -2 Méthode utilisé pour créer curtailments LMC :

1. sélectionnez le Δ poids maximum autorisé LMC
2. sélectionnez le bras d'équilibrage (ou bras) pour le chargement et le déchargement du Δ poids de LMC sélectionné
3. calculer Δ moments produits par le chargement et le déchargement du Δ poids LMC ou le bras de levier sélectionnée (ou BA)
4. pour le Δ poids du LMC déterminer le Δ moment correspondant le long de chaque limite CG à l'étude
5. pour chaque limite de CG à l'étude, comparer les moments calculés à l'étape 3 à ceux de l'étape 4 pour déterminer le maximum
6. curtailment = -Maximum moment

Pour l'avion Boeing 737-800, le segment de changement de dernière minute est dans l'intervalle [T7, F9]

Point	Masse(Kg)	Index	MAC%
T7	78471	83.3	31%
F9	70760	95.3	36%

Tableau II.13 : Les caractéristiques de coordonnées des points T7 et F9

1. sélectionnez le poids delta LMC maximale admissible
on prend en considération 5 pax
le poids de chaque pax=84KG

Assumer $84 * 5 = 420Kg$ kg

2. sélectionnez bras d'équilibrage (ou bras) pour le chargement et le déchargement du poids delta LMC sélectionné

$$BA = \frac{(index - 45) * 30000}{masse} + 658.3$$

Pour T7 :

$$BA = \frac{(83.3 - 45) * 30000}{78471} + 658.3$$

$$BA = 672.94 \text{ inch}$$

Pour F9 :

$$BA = \frac{(95.3 - 45) * 30000}{70760} + 658.3$$

$$BA = 679.62 \text{ inch}$$

3. calcul de Δ moments produits par le chargement ou le déchargement du poids LMC au bras d'équilibrage sélectionné

Moments en charge :

$$\left\{ \begin{array}{l} +420 * 672.94 = 282634.8 \text{ Kg.IN} \\ +420 * 679.62 = 285440.4 \text{ Kg.IN} \end{array} \right.$$

Moments en décharge :

$$\left\{ \begin{array}{l} -420 * 672.94 = -282634.8 \text{ Kg.IN} \\ -420 * 679.62 = -285440.4 \text{ Kg.IN} \end{array} \right.$$

4. pour le poids du delta LMC déterminer le delta moment correspondant le long de chaque limite CG à l'étude

Pour cet exemple, on va considérer 1 limite T7F9

$$moment = masse * \left[\left(\frac{155.8 * MAC\%}{100} \right) + 627.1 \right]$$

$$momentT7 = 78471 * \left[\left(\frac{155.8 * 31}{100} \right) + 627.1 \right]$$

$$momentT7 = 52999156.5 \text{ Kg.IN}$$

$$momentF9 = 70760 * \left[\left(\frac{155.8 * 36}{100} \right) + 627.1 \right]$$

$$momentF9 = 48342382.9 \text{ Kg.IN}$$

4b) déterminer la pente de segment T7F9

$$penteT7F9 = \frac{MomentF9 - MomentT7}{WeightF9 - WeightT7}$$

$$pente T7F9 = \frac{48342382.9 - 52999156.5}{70760 - 78471}$$

$$pente T7F9 = 603.91 \text{ IN}$$

4c) pour le poids delta LMC de 420 kg déterminer le delta moment correspondant le long de la limite CG T7F9

$$\Delta weight * pente T7F9 = \Delta moment$$

$$\Delta moment = 420 * 603.91 = 253642.2 \text{ Kg.IN}$$

$$\Delta moment = -420 * 603.91 = -253642.2 \text{ Kg.IN}$$

Moment en charge (le point T7) :

$$\begin{cases} +282634.8 \text{ Kg.IN} \\ +285440.4 \text{ Kg.IN} \end{cases}$$

$$\Delta moment(encharge \text{ max}) = 285440.4 - 253642.2$$

$$\Delta moment = 31798.2 \text{ Kg.IN}$$

Moment en décharge (le point F9) :

$$\begin{cases} -282634.8 \text{ Kg.IN} \\ -285440.4 \text{ Kg.IN} \end{cases}$$

$$\Delta moment = -282634.8 - (-253642.2)$$

$$\Delta moment = -28992.6 \text{ Kg.IN}$$

Le curtailment T7F9=31798.2 Kg.IN

$$\Delta index = \frac{-31798.2}{30000}$$

$$\Delta index = -1.05994$$

NB :Le delta index trouvé est appliqué pour les points T₇ F₉.

CHAPITRE III :
RESULTATS DES
EQUATIONS TRAITÉES
DANS LE 2 EME
CHAPITRE

chapitre III Résultats des Equations Traitees dans le 2 ème Chapitre

III.1.INTRODUCTION

Dans ce dernier chapitre, on procédera à l'interprétation des résultats obtenus dans le deuxième chapitre en utilisant des tableaux et des graphes explicatifs pour montrer les écarts entre l'enveloppe opérationnelle et l'enveloppe certifiée de l'avion Boeing 737-800.

III.2.TABLEAUX EXPLICATIFS POUR CHAQUE CAS

POINT	INDEX	POIDS
F1	21.6	35000
T1	23.1	35000
L1	23.1	35000
Z1	23.1	35000
F2	3	62822
Z2	5.7	62731
T3	4.5	65317
F4	4.5	65317
L3	4.5	65317
T2	4.3	65056
F3	4.3	65056
L2	4.3	65056
T4	17.0	78471
F5	17.0	78471
T5	33.7	79242
F6	33.7	79242
T6	64.2	79242
F7	64.2	79242
T7	83.3	78471
F8	83.3	78471
T12	92.2	72787
T10	93.8	71769
T8	94.6	71105
F9	95.3	70760
L4	91.4	65317
Z3	89.6	62731
Z4	78.9	47627
F10	78.9	47627
L5	78.9	47627
Z5	64.8	36287
F11	64.8	36287
L6	64.8	36287
T9	54.8	36287
T11	52.9	36287
T13	50.3	36287

Tableau III.1 : Les coordonnées des points d'enveloppe certifiée.

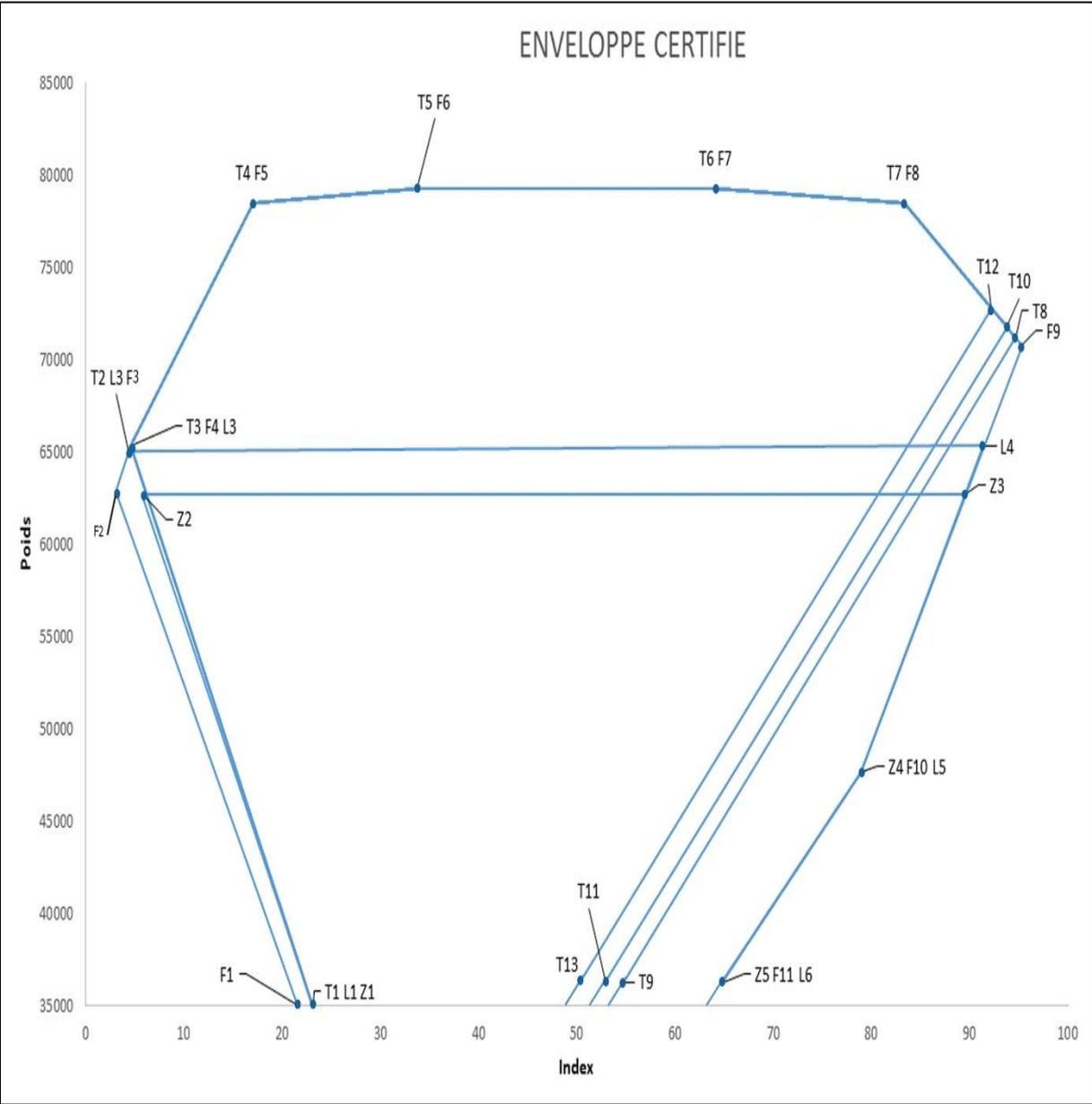


Figure III.1 : L'enveloppe certifiée

chapitre III Résultats des Equations Traitees dans le 2 ème Chapitre

faisant référence au recommandation du constructeur Boeing, le tableau ci-dessous présente un récapitulatif des points touchés par l'applications des pénalisations 'curtailment'.

On note que :

- T: TRAIN
- C: CARBURANT
- P : PAX
- V: VOLETS
- M: les changements de dernières minutes

chapitre III Résultats des Equations Traitees dans le 2 ème Chapitre

Cas Points	Train	carburant	Pax	Volet	Changement des dernières minutes
F1	T		P	V	
T1			P	V	
L1			P		
Z1			P	V	
F2			P		
Z2			P	V	
T3			P		
F4			P		
L3			P		
T2			P		
F3			P		
L2			P		
T4			P		
F5			P		
T5			P	V	
F6	T		P	V	
T6			P		
F7			P		
T7		C	P		M
F8			P		
T12			P		
T10			P		
T8		C	P		
F9			P		M
L4			P		
Z3			P		
Z4			P		
F10			P		
L5			P		
Z5			P		
F11			P		
L6			P		
T9			P		
T11			P		
T13			P		

Tableau III.2: Les points d'emplacement des curtaillements de chaque cas

chapitre III Résultats des Equations Traitees dans le 2 ème Chapitre

Les trains :

TRAIN delta index =+ 0.6			
F1		F6	
Avant	Après	Avant	Après
21.6	21.6 (non impactant)	33.7	33.7 (non impactant)

Tableau III.3 : Tableau explicatif de changement d'index en fonction des mouvements des trains

En appliquant les pénalisations relatives au mouvement du train d'atterrissage, L'enveloppe certifiée ne change pas parce que en ajoutant le DELTA index, l'enveloppe opérationnelle restera toujours à l'intérieure de certifiée.

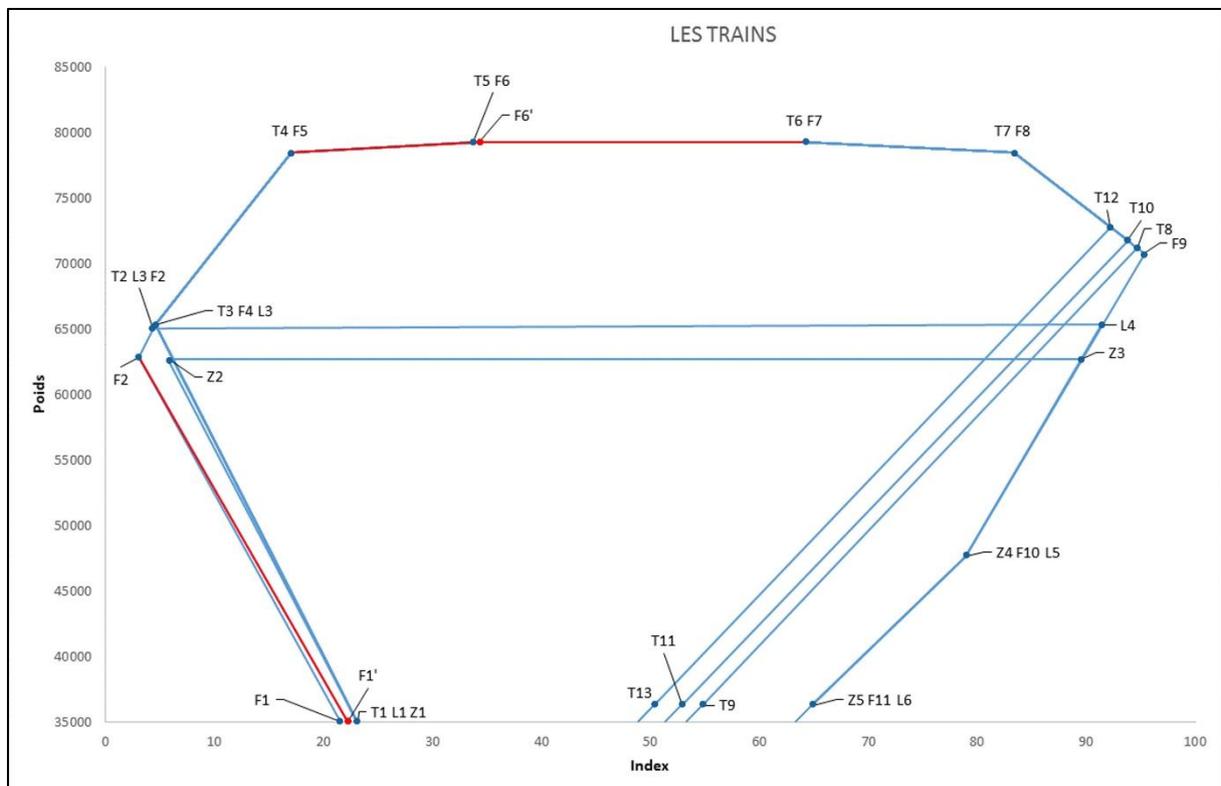


Figure III.2 : L'enveloppe opérationnelle en cas de mouvement des trains

chapitre III Résultats des Equations Traitees dans le 2 ème Chapitre

Les volets :

VOLETS delta index=+0.197											
F1		T1		Z1		Z2		T5		F6	
Avant	Après	Avant	après	avant	Après	avant	Après	Avant	Après	avant	après
21.6	21.6 (non impactant)	23.1	23.1 (non impactant)	23.1	23.1 (non impactant)	5.7	5.7 (non impactant)	33.7	33.7 (non impactant)	33.7	33.7 (non impactant)

Tableau III.4 : Tableau explicatif de changement d'index en fonction des mouvements des volets

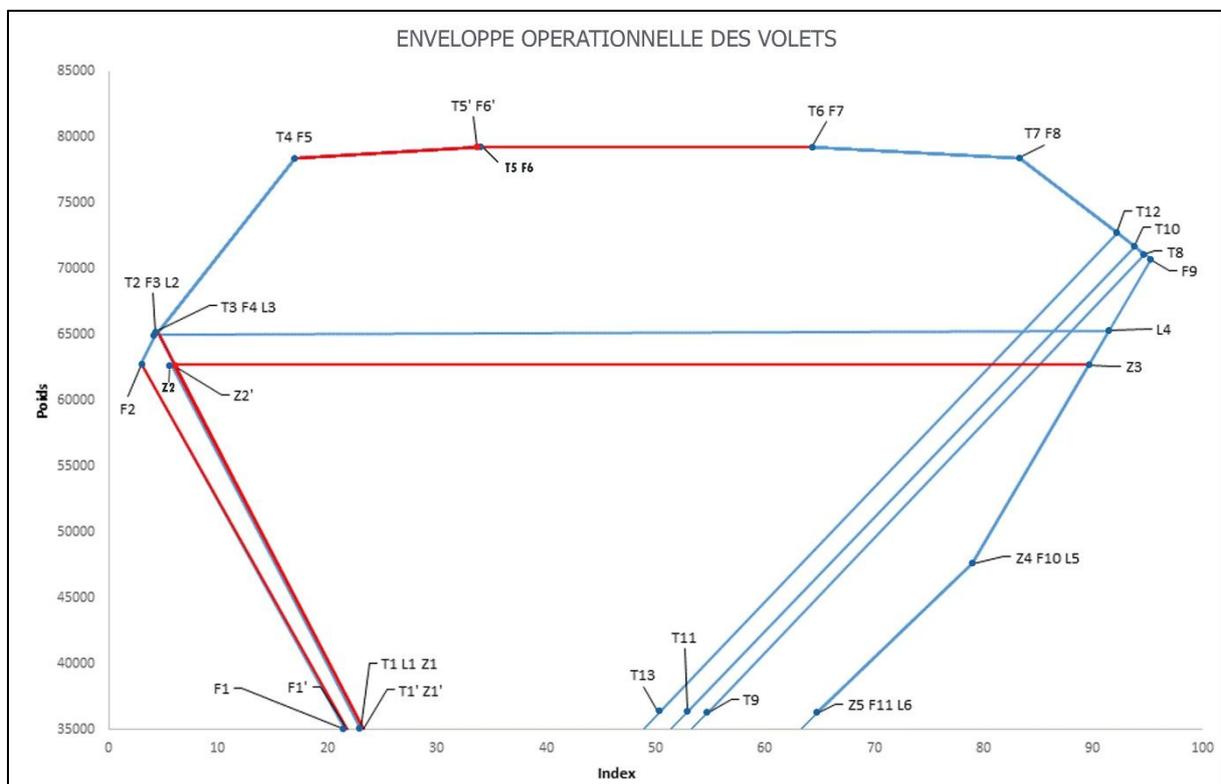


Figure III.3 : L'enveloppe opérationnelle en cas de mouvement des volets

chapitre III Résultats des Equations Traitees dans le 2 ème Chapitre

Le carburant :

Carburant delta index =8.161			
T7		T8	
Avant	Après	Avant	Après
83.3	75.139	94.6	86.439

Tableau III.5 : Tableau explicatif de changement d'index en fonction de chargement carburant

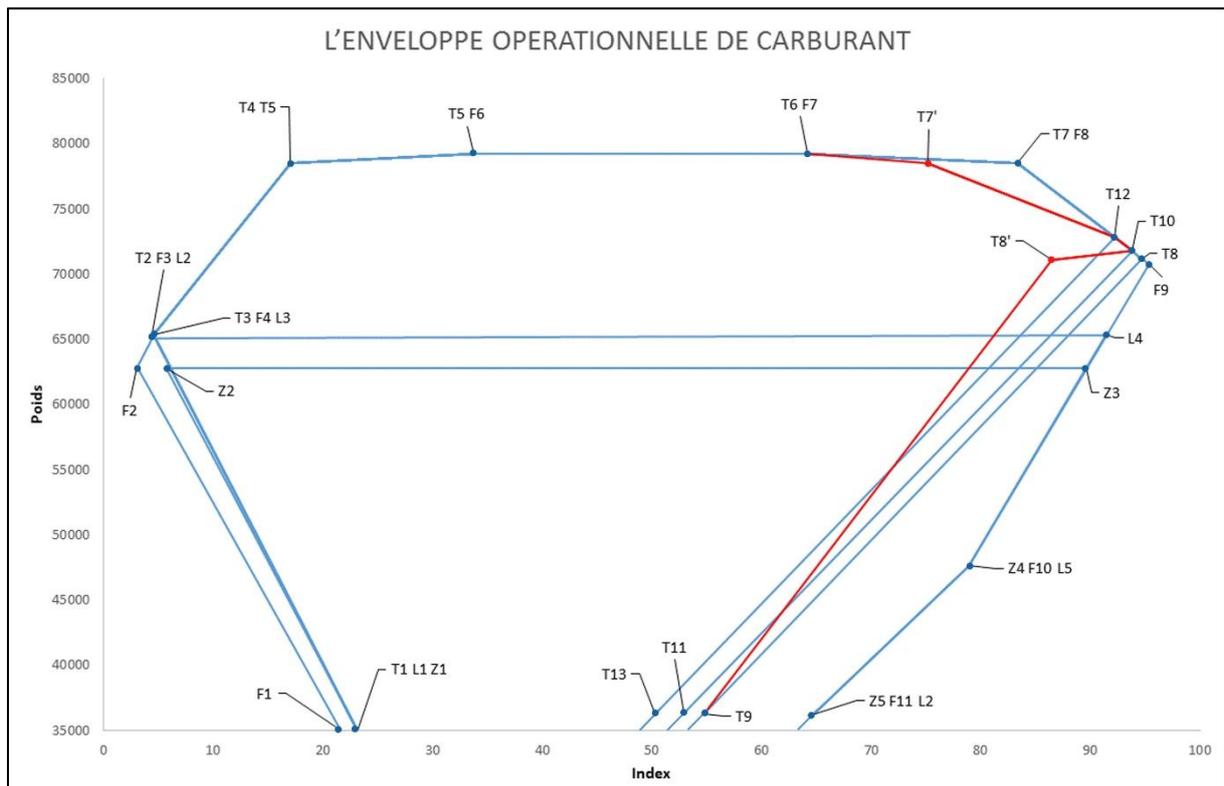


Figure III.4 : L'enveloppe opérationnelle en cas de chargement de carburant

chapitre III Résultats des Equations Traitees dans le 2 ème Chapitre

Les changements des dernières minutes :

Changement des dernières minutes delta index=-1.059				
POINT	T7		F9	
Index	Avant	Après	Avant	Après
	83.3	83.3 non impactant	95.3	95.3 non impactant
Poids	Avant	Après	Avant	Après
	78471	78051	70760	70760

Tableau III.6 : Tableau explicatif de changement d'index en fonction de changement dernière minute

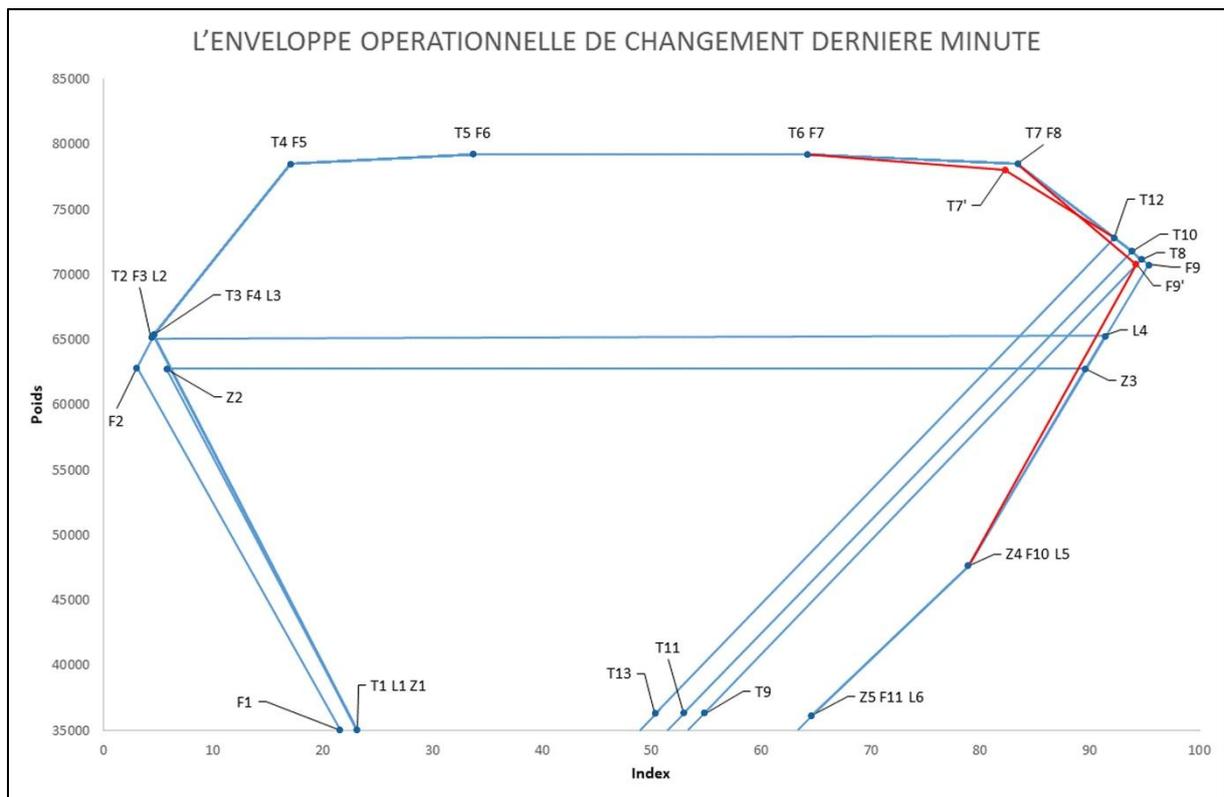


Figure III.5 : L'enveloppe opérationnelle en cas de changement dernière minute

chapitre III Résultats des Equations Traitees dans le 2 ème Chapitre

Le mouvement des passagers :

PAX delta index =7.383					
F1	Avant	Après	T10	Avant	Après
	21.6	21.6 non impactant		93.8	86.417
T1	avant	Après	T8	Avant	Après
	23.1	23.1 non impactant		94.6	87.217
L1	Avant	Après	F9	Avant	Après
	23.1	23.1 non impactant		95.3	87.917
Z1	Avant	Après	L4	avant	Après
	23.1	23.1 non impactant		91.4	84.017
F2	Avant	Après	Z3	Avant	Après
	3.0	3.0 non impactant		89.6	82.217
Z2	Avant	Après	Z4	Avant	Après
	5.7	5.7 non impactant		78.9	71.517
T3	Avant	Après	F10	Avant	Après
	4.5	4.5 non impactant		78.9	71.517
F4	Avant	Après	L5	Avant	Après
	4.5	4.5 non impactant		78.9	71.517
L3	Avant	Après	Z5	Avant	Après
	4.5	4.5 non impactant		64.8	57.417
T2	Avant	Après	F11	Avant	Après
	4.3	4.3 non impactant		64.8	57.417
F3	Avant	Après	L6	Avant	Après
	4.3	4.3 non impactant		64.8	57.417
L2	Avant	Après	T9	Avant	Après
	4.3	4.3 non impactant		54.8	54.8 non impactant
T4	Avant	Après	T11	Avant	Après
	17.0	17.0 non impactant		52.9	52.9 non impactant
F5	Avant	Après	T13	Avant	Après
	17.0	17.0 non impactant		50.3	50.3 non impactant
T5	Avant	Après	F6	Avant	Après
	33.7	33.7		33.7	33.7
T6	Avant	Après			
	64.2	56.817			
F7	Avant	Après			
	64.2	56.817			
T7	Avant	Après			
	83.3	75.917			
F8	Avant	Après			
	83.3	75.917			
T12	Avant	Après			
	92.2	84.817			

Tableau III.7 :Le changement de l'index en fonction de placement des passagers

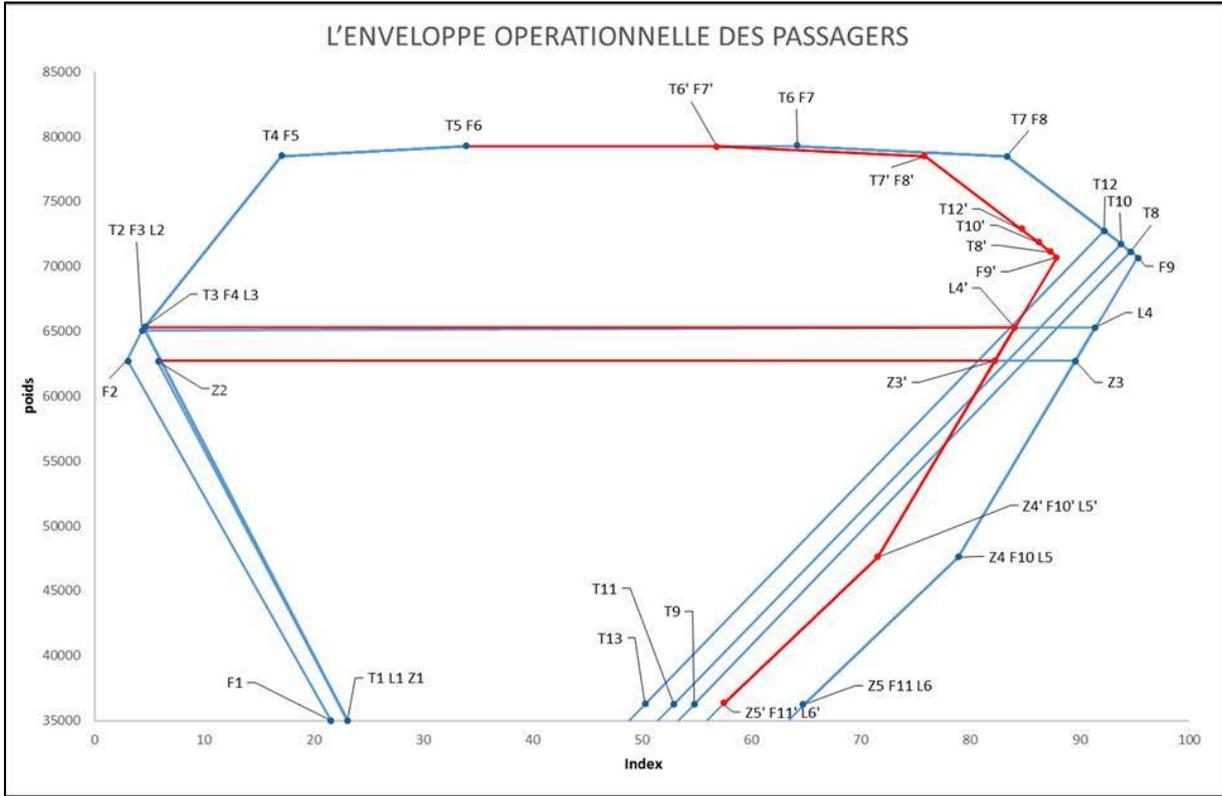


Figure III.6 : L'enveloppe opérationnelle en cas de mouvement des pax

chapitre III Résultats des Equations Traitees dans le 2 ème Chapitre

Tableau exploitable de l'enveloppe opérationnelle en prenant en considération tous les cas :

Point	Train	Carburant	Passager	Volet	Changement De dernières minutes	Somme des deltas index	Index ancien	Index nouveau	Poids
F1	0.6		7.383	0.197		8.18	21.6	21.6	35000
T1			7.383	0.197		7.58	23.1	23.1	35000
L1			7.383			7.383	23.1	23.1	35000
Z1			7.383	0.197		7.58	23.1	23.1	35000
F2			7.383				3.0	3.0	62822
Z2			7.383	0.197		7.58	5.7	5.7	62731
T3			7.383				4.5	4.5	65317
F4			7.383				4.5	4.5	65317
L3			7.383				4.5	4.5	65317
T2			7.383				4.3	4.3	65056
F3			7.383				4.3	4.3	65056
L2			7.383				4.3	4.3	65056
T4			7.383				17.0	17.0	78471
F5			7.383				17.0	17.0	78471
T5			7.383	0.197		7.58	33.7	33.7	79242
F6	0.6		7.383	0.197		8.18	33.7	33.7	79242
T6			7.383				64.2	56.817	79242
F7			7.383				64.2	56.817	79242
T7		8.161	7.383		-1.059	14.48	83.3	68.82	78051
F8			7.383			7.383	83.3	75.917	78471
T12			7.383				92.2	84.817	72787
T10			7.383				93.8	86.417	71796
T8		8.161	7.383			15.544	94.6	79.056	71105
F9			7.383		-1.059	6.324	95.3	88.976	70760
L4			7.383			7.383	91.4	84.017	65317
Z3			7.383			7.383	89.6	82.217	62731
Z4			7.383			7.383	78.9	71.517	47627
F10			7.383			7.383	78.9	71.517	47627
L5			7.383			7.383	78.9	71.517	47627
Z5			7.383			7.383	64.8	57.417	36287
F11			7.383			7.383	64.8	57.417	36287
L6			7.383			7.383	64.8	57.417	36287
T9			7.383			7.383	54.8	54.8	36287
T11			7.383			7.383	52.9	52.9	36287
T13			7.383			7.383	50.3	50.3	36287

Tableau III.8:Tableau récapitulatif de conception de l'enveloppe opérationnelle

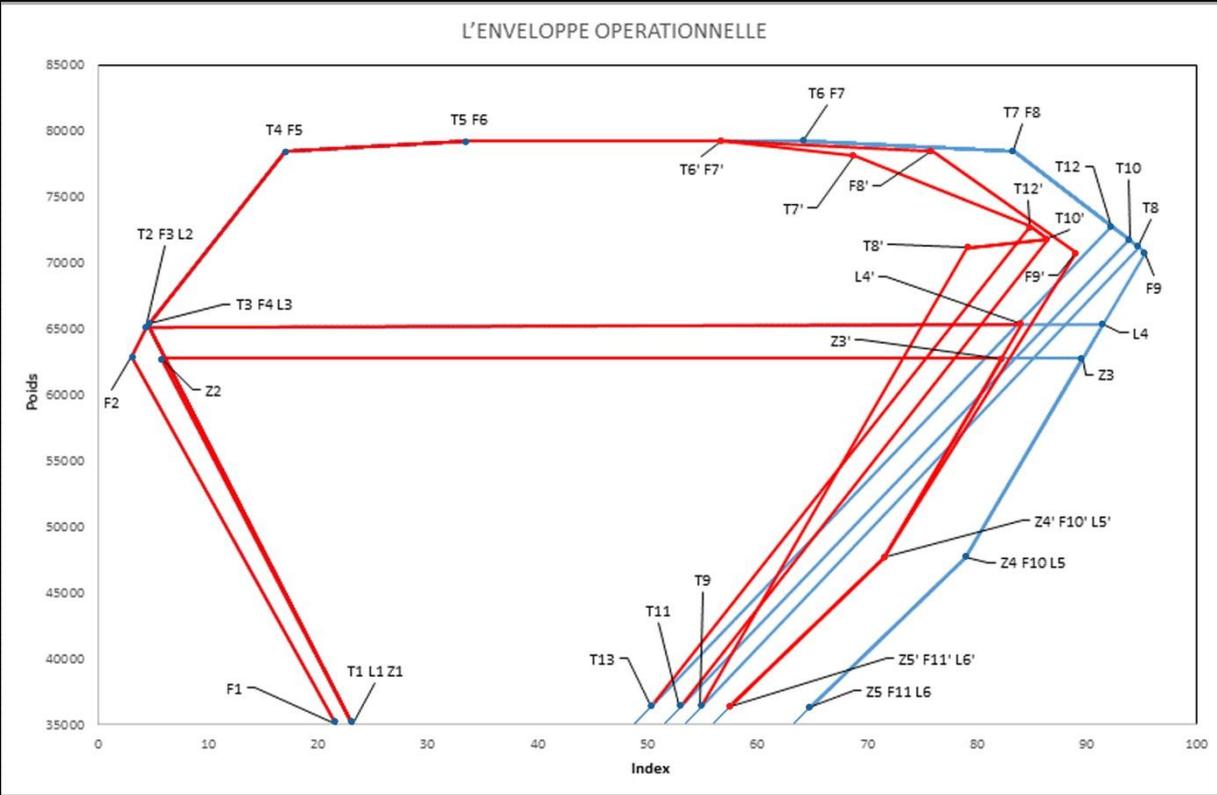


Figure III.7 : L'enveloppe opérationnelle

CONCLUSION

CONCLUSION

Le travail présenté dans cette thèse consistait à l'élaboration et le traçage de l'enveloppe opérationnelle du centre de Gravité du Boeing 737-800 de Tassili Airlines.

Les différentes étapes suivies ainsi la formulation des équations de calcul ont fait référence aux recommandations du constructeurs avion Boeing à travers son manuel de formation pour la conception des enveloppes opérationnelles en faveurs des exploitants.

Après avoir introduire les notions et les généralités de masse et centrage, le travail a commencé à être concrétisé par le développement des équations de calcul des différentes pénalisations, et se terminant par le traçage de l'enveloppe tenant en compte des nouvelles coordonnées des points significatifs en terme de poids et de l'index du centre de gravité.

A l'issu de cette étude, l'enveloppe opérationnelle du centre de gravité du B738-NG a été élaborée et présenté dans la dernière illustration du troisième chapitre.

Tenant compte des considérations prises lors de l'élaboration de cette enveloppe, le centrage et le chargement de l'avion B738-NG ont été protégé des cas de risques générés par les contraintes opérationnelles traitées, et c'est l'objectif de cette étude.

Comme perspective, nous suggérons la prise en considération des autres contraintes opérationnelles comme le mouvement et l'usage de l'eau à bord de l'avion, cela va améliorer certainement le niveau de sécurité en termes de masse et de centrage.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- **Le Manuel Weight & Balance B738-NG dédié à Tassili Airlines.**
- **Un Support des instructions pour l'élaboration de l'enveloppe opérationnelle éditée par Boeing compagnie en faveurs des exploitants.**
- **WB250, Weight &Balance , Loading Schedule Design, Course Notes 2015**
- **WB250, Weight &Balance , Loading Schedule Design, exercices 2015**
- **Annexe 06 à la convention relative à l'aviation civile internationale :Exploitation technique des aéronefs. Partie 1 ;Aviation de transport commercial, Avions.9èmé Edition ;2010.**
- **Enveloppe opérationnelle de centrage avion, Direction de la sécurité de l'aviation civile, Direction navigabilité et opérations, Edition 1, Version 0, 03/03/2016.**

<http://accrodavion.be/Accrodavions/lastructuredesavions10.html>

ANNEXE

ANNEXE

Cas de mouvement des passagers

Curtailement= - moment

$$\Delta \text{index} = \frac{\text{curtailement}}{\text{moment constant}}$$

Zone OA :

NB DE PAX	DZONE OA	Apax	Apax-DZON	WEIGHT	ΔMOMENT	ΣΔmoment	MOMENT C	ΔINDEX
1	242	182	-60	84	-5040	-5040	30000	0,168
2	242	182	-60	84	-5040	-10080	30000	0,336
3	242	212	-30	84	-2520	-12600	30000	0,42
4	242	204	-38	84	-3192	-15792	30000	0,5264
5	242	242	0	84	0	-15792	30000	0,5264
6	242	234	-8	84	-672	-16464	30000	0,5488
7	242	271	29	84	2436	-14028	30000	0,4676
8	242	264	22	84	1848	-12180	30000	0,406
9	242	302	60	84	5040	-7140	30000	0,238
10	242	294	52	84	4368	-2772	30000	0,0924
11	242	182	-60	84	-5040	-7812	30000	0,2604
12	242	182	-60	84	-5040	-12852	30000	0,4284
13	242	212	-30	84	-2520	-15372	30000	0,5124
14	242	204	-38	84	-3192	-18564	30000	0,6188
15	242	242	0	84	0	-18564	30000	0,6188
16	242	234	-8	84	-672	-19236	30000	0,6412
17	242	271	29	84	2436	-16800	30000	0,56
18	242	264	22	84	1848	-14952	30000	0,4984
19	242	302	60	84	5040	-9912	30000	0,3304
20	242	294	52	84	4368	-5544	30000	0,1848

Zone OB :

NB DE PAX	DZONEOB	APAX	APAX-DZON	WEIGHT	ΔMOMENT	ΣΔmoment	MOMENT C	ΔINDEX
21	496	331	-165	84	-13860	-13860	30000	0,462
22	496	324	-172	84	-14448	-28308	30000	0,9436
23	496	360	-136	84	-11424	-39732	30000	1,3244
24	496	354	-142	84	-11928	-51660	30000	1,722
25	496	389	-107	84	-8988	-60648	30000	2,0216
26	496	384	-112	84	-9408	-70056	30000	2,3352
27	496	418	-78	84	-6552	-76608	30000	2,5536
28	496	414	-82	84	-6888	-83496	30000	2,7832
29	496	447	-49	84	-4116	-87612	30000	2,9204
30	496	444	-52	84	-4368	-91980	30000	3,066

ANNEXE

31	496	476	-20	84	-1680	-93660	30000	3,122
32	496	474	-22	84	-1848	-95508	30000	3,1836
33	496	505	9	84	756	-94752	30000	3,1584
34	496	504	8	84	672	-94080	30000	3,136
35	496	534	38	84	3192	-90888	30000	3,0296
36	496	534	38	84	7056	-83832	30000	2,7944
37	496	563	67	84	5628	-78204	30000	2,6068
38	496	563	67	84	5628	-72576	30000	2,4192
39	496	601	105	84	8820	-63756	30000	2,1252
40	496	601	105	84	8820	-54936	30000	1,8312
41	496	639	143	84	12012	-42924	30000	1,4308
42	496	639	143	84	12012	-30912	30000	1,0304
43	496	668	172	84	14448	-16464	30000	0,5488
44	496	668	172	84	14448	-2016	30000	0,0672
45	496	331	-165	84	-13860	-15876	30000	0,5292
46	496	324	-172	84	-14448	-30324	30000	1,0108
47	496	360	-136	84	-11424	-41748	30000	1,3916
48	496	354	-142	84	-11928	-53676	30000	1,7892
49	496	389	-107	84	-8988	-62664	30000	2,0888
50	496	384	-112	84	-9408	-72072	30000	2,4024
51	496	418	-78	84	-6552	-78624	30000	2,6208
52	496	414	-82	84	-6888	-85512	30000	2,8504
53	496	447	-49	84	-4116	-89628	30000	2,9876
54	496	444	-52	84	-4368	-93996	30000	3,1332
55	496	476	-20	84	-1680	-95676	30000	3,1892
56	496	474	-22	84	-1848	-97524	30000	3,2508
57	496	505	9	84	756	-96768	30000	3,2256
58	496	504	8	84	672	-96096	30000	3,2032
59	496	534	38	84	3192	-92904	30000	3,0968
60	496	534	38	84	7056	-85848	30000	2,8616
61	496	563	67	84	5628	-80220	30000	2,674
62	496	563	67	84	5628	-74592	30000	2,4864
63	496	601	105	84	8820	-65772	30000	2,1924
64	496	601	105	84	8820	-56952	30000	1,8984
65	496	639	143	84	12012	-44940	30000	1,498
66	496	639	143	84	12012	-32928	30000	1,0976
67	496	668	172	84	14448	-18480	30000	0,616
68	496	668	172	84	14448	-4032	30000	0,1344
69	496	331	-165	84	-13860	-17892	30000	0,5964
70	496	324	-172	84	-14448	-32340	30000	1,078
71	496	360	-136	84	-11424	-43764	30000	1,4588
72	496	354	-142	84	-11928	-55692	30000	1,8564
73	496	389	-107	84	-8988	-64680	30000	2,156
74	496	384	-112	84	-9408	-74088	30000	2,4696

ANNEXE

75	496	418	-78	84	-6552	-80640	30000	2,688
76	496	414	-82	84	-6888	-87528	30000	2,9176
77	496	447	-49	84	-4116	-91644	30000	3,0548
78	496	444	-52	84	-4368	-96012	30000	3,2004
79	496	476	-20	84	-1680	-97692	30000	3,2564
80	496	474	-22	84	-1848	-99540	30000	3,318
81	496	505	9	84	756	-98784	30000	3,2928
82	496	504	8	84	672	-98112	30000	3,2704
83	496	534	38	84	3192	-94920	30000	3,164
84	496	534	38	84	7056	-87864	30000	2,9288
85	496	563	67	84	5628	-82236	30000	2,7412
86	496	563	67	84	5628	-76608	30000	2,5536
87	496	601	105	84	8820	-67788	30000	2,2596
88	496	601	105	84	8820	-58968	30000	1,9656
89	496	639	143	84	12012	-46956	30000	1,5652
90	496	639	143	84	12012	-34944	30000	1,1648
91	496	668	172	84	14448	-20496	30000	0,6832
92	496	668	172	84	14448	-6048	30000	0,2016

ZONE OC :

NB DE PAX	DZONE OC	APAX	APAX-DZON	WEIGHT	Δ MOMENT	$\Sigma\Delta$ moment	MOMENT C	Δ INDEX
93	843,5	697	-146,5	84	-12306	-12306	30000	0,4102
94	843,5	697	-146,5	84	-12306	-24612	30000	0,8204
95	843,5	726	-117,5	84	-9870	-34482	30000	1,1494
96	843,5	726	-117,5	84	-9870	-44352	30000	1,4784
97	843,5	755	-88,5	84	-7434	-51786	30000	1,7262
98	843,5	755	-88,5	84	-7434	-59220	30000	1,974
99	843,5	784	-59,5	84	-4998	-64218	30000	2,1406
100	843,5	784	-59,5	84	-4998	-69216	30000	2,3072
101	843,5	813	-30,5	84	-2562	-71778	30000	2,3926
102	843,5	813	-30,5	84	-2562	-74340	30000	2,478
103	843,5	842	-1,5	84	-126	-74466	30000	2,4822
104	843,5	842	-1,5	84	-126	-74592	30000	2,4864
105	843,5	871	27,5	84	2310	-72282	30000	2,4094
106	843,5	871	27,5	84	2310	-69972	30000	2,3324
107	843,5	900	56,5	84	4746	-65226	30000	2,1742
108	843,5	900	56,5	84	4746	-60480	30000	2,016
109	843,5	930	86,5	84	7266	-53214	30000	1,7738
110	843,5	930	86,5	84	7266	-45948	30000	1,5316
111	843,5	960	116,5	84	9786	-36162	30000	1,2054
112	843,5	960	116,5	84	9786	-26376	30000	0,8792
113	843,5	990	146,5	84	12306	-14070	30000	0,469

ANNEXE

114	843,5	697	-146,5	84	-12306	-26376	30000	0,8792
115	843,5	697	-146,5	84	-12306	-38682	30000	1,2894
116	843,5	726	-117,5	84	-9870	-48552	30000	1,6184
117	843,5	726	-117,5	84	-9870	-58422	30000	1,9474
118	843,5	755	-88,5	84	-7434	-65856	30000	2,1952
119	843,5	755	-88,5	84	-7434	-73290	30000	2,443
120	843,5	784	-59,5	84	-4998	-78288	30000	2,6096
121	843,5	784	-59,5	84	-4998	-83286	30000	2,7762
122	843,5	813	-30,5	84	-2562	-85848	30000	2,8616
123	843,5	813	-30,5	84	-2562	-88410	30000	2,947
124	843,5	842	-1,5	84	-126	-88536	30000	2,9512
125	843,5	842	-1,5	84	-126	-88662	30000	2,9554
126	843,5	871	27,5	84	2310	-86352	30000	2,8784
127	843,5	871	27,5	84	2310	-84042	30000	2,8014
128	843,5	900	56,5	84	4746	-79296	30000	2,6432
129	843,5	900	56,5	84	4746	-74550	30000	2,485
130	843,5	930	86,5	84	7266	-67284	30000	2,2428
131	843,5	930	86,5	84	7266	-60018	30000	2,0006
132	843,5	960	116,5	84	9786	-50232	30000	1,6744
133	843,5	960	116,5	84	9786	-40446	30000	1,3482
134	843,5	990	146,5	84	12306	-28140	30000	0,938
135	843,5	697	-146,5	84	-12306	-40446	30000	1,3482
136	843,5	697	-146,5	84	-12306	-52752	30000	1,7584
137	843,5	726	-117,5	84	-9870	-62622	30000	2,0874
138	843,5	726	-117,5	84	-9870	-72492	30000	2,4164
139	843,5	755	-88,5	84	-7434	-79926	30000	2,6642
140	843,5	755	-88,5	84	-7434	-87360	30000	2,912
141	843,5	784	-59,5	84	-4998	-92358	30000	3,0786
142	843,5	784	-59,5	84	-4998	-97356	30000	3,2452
143	843,5	813	-30,5	84	-2562	-99918	30000	3,3306
144	843,5	813	-30,5	84	-2562	-102480	30000	3,416
145	843,5	842	-1,5	84	-126	-102606	30000	3,4202
146	843,5	842	-1,5	84	-126	-102732	30000	3,4244
147	843,5	871	27,5	84	2310	-100422	30000	3,3474
148	843,5	871	27,5	84	2310	-98112	30000	3,2704
149	843,5	900	56,5	84	4746	-93366	30000	3,1122
150	843,5	900	56,5	84	4746	-88620	30000	2,954
151	843,5	930	86,5	84	7266	-81354	30000	2,7118
152	843,5	930	86,5	84	7266	-74088	30000	2,4696
153	843,5	960	116,5	84	9786	-64302	30000	2,1434
154	843,5	960	116,5	84	9786	-54516	30000	1,8172
155	843,5	990	146,5	84	12306	-42210	30000	1,407

ANNEXE

Tableau des trains :

On a le $\Delta_{\text{index}}=0.6$

Les points de changement F1,F6

POINT	INDEX	POID
F1	22.2	35000
T1	23.1	35000
L1	23.1	35000
Z1	23.1	35000
F2	3	62822
Z2	5.7	62731
T3	4.5	65317
F4	4.5	65317
L3	4.5	65317
T2	4.3	65056
F3	4.3	65056
L2	4.3	65056
T4	17.0	78471
F5	17.0	78471
T5	33.7	79242
F6	34.3	79242
T6	64.2	79242
F7	64.2	79242
T7	83.3	78471
F8	83.3	78471
T12	92.2	72787
T10	93.8	71769
T8	94.6	71105
F9	95.3	70760
L4	91.4	65317
Z3	89.6	62731
Z4	78.9	47627
F10	78.9	47627
L5	78.9	47627
Z5	64.8	36287
F11	64.8	36287
L6	64.8	36287
T9	54.8	36287
T11	52.9	36287
T13	50.3	36287

ANNEXE

ENVELOPPE OPERATIONNELLE DES VOLETS :

On a $\Delta_{index}=+0.197$

T1 T5.Z1Z2.F1F6

POINT	INDEX	POID
F1	21.797	35000
T1	23.297	35000
L1	23.1	35000
Z1	23.297	35000
F2	3	62822
Z2	5.897	62731
T3	4.5	65317
F4	4.5	65317
L3	4.5	65317
T2	4.3	65056
F3	4.3	65056
L2	4.3	65056
T4	17.0	78471
F5	17.0	78471
T5	33.897	79242
F6	33.897	79242
T6	64.2	79242
F7	64.2	79242
T7	83.3	78471
F8	83.3	78471
T12	92.2	72787
T10	93.8	71769
T8	94.6	71105
F9	95.3	70760
L4	91.4	65317
Z3	89.6	62731
Z4	78.9	47627
F10	78.9	47627
L5	78.9	47627
Z5	64.8	36287
F11	64.8	36287
L6	64.8	36287
T9	54.8	36287
T11	52.9	36287
T13	50.3	36287

ANNEXE

L'ENVELOPPE OPERATIONNELLE DES PASSAGERS :

On a $\Delta_{index}=+7.383$

POINTS DE CHANGEMENT : tous les points

POINT	INDEX	POID
F1	21.6	35000
T1	23.1	35000
L1	23.1	35000
Z1	23.1	35000
F2	3	62822
Z2	5.7	62731
T3	4.5	65317
F4	4.5	65317
L3	4.5	65317
T2	4.3	65056
F3	4.3	65056
L2	4.3	65056
T4	17.0	78471
F5	17.0	78471
T5	33.7	79242
F6	33.7	79242
T6	56.817	79242
F7	56.817	79242
T7	75.917	78471
F8	75.917	78471
T12	84.817	72787
T10	86.417	71769
T8	87.217	71105
F9	87.917	70760
L4	84.017	65317
Z3	82.217	62731
Z4	71.517	47627
F10	71.517	47627
L5	71.517	47627
Z5	57.417	36287
F11	57.417	36287
L6	57.417	36287
T9	54.8	36287
T11	52.9	36287
T13	50.3	36287

ANNEXE

L'ENVELOPPE OPERATIONNELLE DE CARBURANT :

On a $\Delta_{index}=+8.161$

Les points de changement T7.T8

POINT	INDEX	POID
F1	21.6	35000
T1	23.1	35000
L1	23.1	35000
Z1	23.1	35000
F2	3	62822
Z2	5.7	62731
T3	4.5	65317
F4	4.5	65317
L3	4.5	65317
T2	4.3	65056
F3	4.3	65056
L2	4.3	65056
T4	17.0	78471
F5	17.0	78471
T5	33.7	79242
F6	33.7	79242
T6	64.2	79242
F7	64.2	79242
T7	75.139	78471
F8	83.3	78471
T12	92.2	72787
T10	93.8	71769
T8	86.439	71105
F9	95.3	70760
L4	91.4	65317
Z3	89.6	62731
Z4	78.9	47627
F10	78.9	47627
L5	78.9	47627
Z5	64.8	36287
F11	64.8	36287
L6	64.8	36287
T9	54.8	36287
T11	52.9	36287
T13	50.3	36287

ANNEXE

L'ENVELOPPE OPERATIONNELLE DE CHANGEMENT DERNIERE MINUTE :

$$\Delta index = -1.059$$

On va appliquer ce cas dans T7 et F9

L'ENVELOPPE OPERATIONNELLE DE CHANGEMENT DERNIERE MINUTE

$$\Delta index = -1.059$$

On va appliquer ce cas dans T7 et F9

POINT	INDEX	POID
F1	21.6	35000
T1	23.1	35000
L1	23.1	35000
Z1	23.1	35000
F2	3	62822
Z2	5.7	62731
T3	4.5	65317
F4	4.5	65317
L3	4.5	65317
T2	4.3	65056
F3	4.3	65056
L2	4.3	65056
T4	17.0	78471
F5	17.0	78471
T5	33.7	79242
F6	33.7	79242
T6	64.2	79242
F7	64.2	79242
T7	82.241	78051
F8	83.3	78471
T12	92.2	72787
T10	93.8	71769
T8	94.6	71105
F9	94.241	70760
L4	91.4	65317
Z3	89.6	62731
Z4	78.9	47627
F10	78.9	47627
L5	78.9	47627
Z5	64.8	36287
F11	64.8	36287
L6	64.8	36287
T9	54.8	36287

ANNEXE

T11	52.9	36287
T13	50.3	36287

L'enveloppe opérationnelle :

Point	Index	Poids
F1	21.6	35000
T1	23.1	35000
L1	23.1	35000
Z1	23.1	35000
F2	3.0	62822
Z2	5.7	62731
T3	4.5	65317
F4	4.5	65317
L3	4.5	65317
T2	4.3	65056
F3	4.3	65056
L2	4.3	65056
T4	17.0	78471
F5	17.0	78471
T5	33.7	79242
F6	33.7	79242
T6	56.817	79242
F7	56.817	79242
T7	68.82	78051
F8	75.917	78471
T12	84.817	72787
T10	86.417	71796
T8	79.056	71105
F9	88.976	70760
L4	84.017	65317
Z3	82.217	62731
Z4	71.517	47627
F10	71.517	47627
L5	71.517	47627
Z5	57.417	36287
F11	57.417	36287
L6	57.417	36287
T9	54.8	36287
T11	52.9	36287
T13	50.3	36287