

003/021

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE BLIDA

INSTITUT D'AERONAUTIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN AERONAUTIQUE

OPTION: Opérations Aériennes

THEME

**CONCEPTION D'UN LOGICIEL DE
CHARGEMENT ET CENTRAGE DES
AVIONS**

proposé par :

M^r : DRIOUCHE . M

Réalisé par

DIARRA MOUSSA

DIARRA MOHAMED B

session 2001/2002

SOMMAIRE :

Glossaire1

Introduction2

Chapitre I : Rappels théoriques

 1.1 Calcul des masses4

 1.2 Centre de gravité5

 1.3 Méthode de calcul du centrage6

 1.4 Calcul en exploitation de la masse et du centrage7

 1.5 Définition des limites certifiés et opérationnelles9

Chapitre II : Conception du logiciel

 II.1 Détermination progressive de la masse et du centrage14

 II.2 Détermination des domaines opérationnels19

 II.3 Détermination du domaine ZF35

 II.4 Etude de la position du CG par rapport au domaine opérationnel38

 II.5 Organigrammes de programmation41

 II.6 Validation des résultats44

Chapitre III : Manuel d'utilisation du logiciel

 III.1 Généralités46

 III.2 Utilisation52

Conclusion68

Bibliographie69

Annexes

GLOSSAIRE :

CCCS	: système de contrôle du centre de gravité
CG	: centre de gravité
Fig	: Figure
FAA	: Federal Aviation Administration
Inch	: Unité de longueur anglo-Saxon
kg	: Kilogramme
LMC	: last minute change
MTOW	: maxi take off weight
MZFW	: maxi zero fuel weight
OEW	: operating empty weight
Org	: organigramme
Pax	: passager
PNC	: personnel navigant commercial
PNT	: personnel navigant technique
RC	: corde de référence
TOW	: take off weight
WBM	: weight and balance manual
ZF	: zero fuel
ZFW	: zero fuel weight

INTRODUCTION

Dans le temps les hommes rêvaient de voler, aujourd'hui ils rêvent de voler avec un maximum de sécurité tout en réalisant des économies.

Ainsi dans le souci d'une exploitation rationnelle et sécurisée, les exploitants d'avion font de plus en plus recours à l'outil informatique. A cet effet les plans de chargement et de centrage, ainsi que les devis de masse ont été l'objet d'une automatisation.

Dans notre étude, nous essayerons de trouver une solution pour l'informatisation de ces derniers en concevant un logiciel qui calcule les éléments du devis de masse, le centrage, et qui conçoit la feuille de centrage, la feuille de devis de masse ainsi que le plan de chargement.

Le logiciel proposé devra répondre aux besoins de la plupart des exploitants désireux de disposer d'un système de gestion de chargement informatisé.

Il pourra être utilisé pour tous les avions commerciaux et s'adapter à toutes les configurations d'aménagement cabine.

Il devra pouvoir être installé sur tout ordinateur exploité à l'aide du système Windows. Le logiciel sera ainsi divisé en trois modules principaux à savoir :

I. TRAITEMENT DES AVIONS est le module de gestion de chargement proprement dit et se divise en des sous modules :

a. Calcul des masses et du centrage

A partir du chargement donné et des caractéristiques de l'avion, le logiciel calcule le centrage et devis masse de l'avion.

b. Détermination des domaines opérationnels

A partir du chargement, des données des avions et des limites certifiées par le constructeur, le logiciel calcule les erreurs de centrage pour chaque phase de vol et détermine des limites opérationnelles.

c. Détermination du domaine zéro fuel (ZF)

Ce domaine est déterminé à partir de la connaissance des limites opérationnelles et de la courbe de centrage du carburant

d. Analyse de la position du centrage par rapport aux domaines déterminés

En comparant la position du centrage avec celle des limites opérationnelles, le logiciel indique à l'utilisateur s'il est à l'intérieur ou en dehors des limites.

2. **BASES DE DONNEES AVIONS**, nous permettra d'enregistrer dans une base de données les informations nécessaires sur les avions à traiter.

3. **ARCHIVES** est le module destiné à l'archivage des traitements.

CHAPITRE I

RAPPELS THEORIQUES

1.1 CALCUL DES MASSES

Définition des différentes masses avion

Masse à vide équipée	Masse à vide de l'appareil avec des équipements permanents dans une version d'aménagement donnée
+	
Équipements variables	Équipements techniques et commerciaux en fonction de la ligne (équipage, canots, commissariat, eau ...)
=	
OEW	Masse à vide en ordre d'exploitation (Operating Empty Weight)
+	
Corrections	Équipement réel – équipement type prévu
-	
OEW corrigé	Masse à vide en ordre d'exploitation corrigé
+	
Pict passager	Charge marchande à embarquer
ZFW	Masse sans carburant (zero fuel weight)
+	
Carburant	
-	
TOW	Masse au décollage

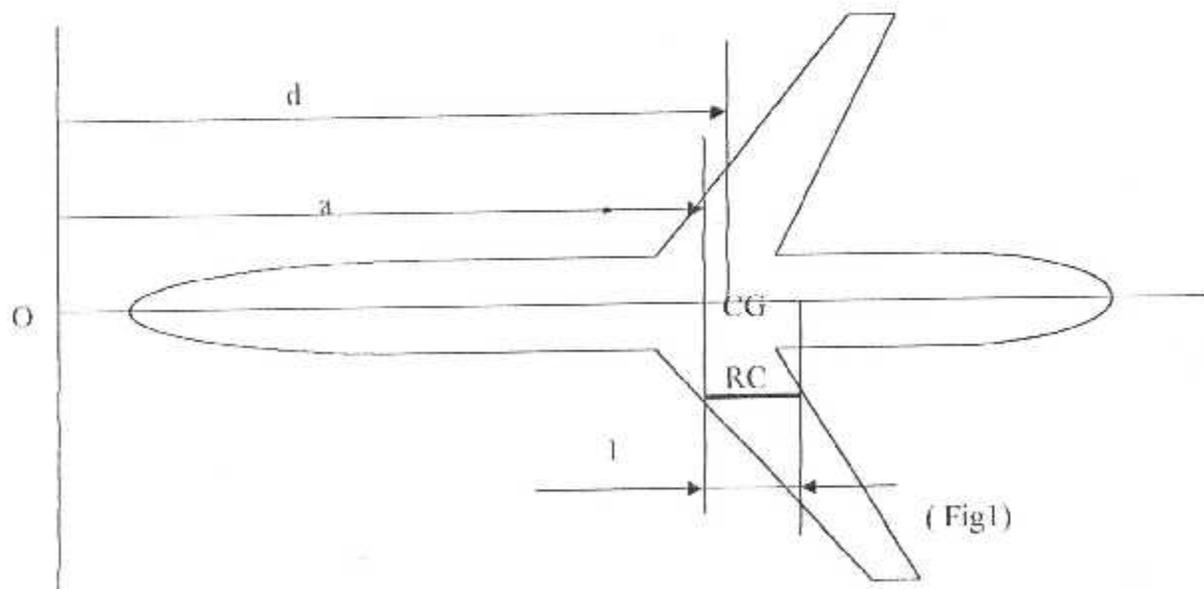
1.2 CENTRE DE GRAVITE

Le centre de gravité est une caractéristique importante de l'avion, longitudinalement il doit être maintenu entre une limite avant et une limite arrière.

Le centre de gravité est suffisamment proche de l'axe longitudinal pour qu'il ne soit simplement repéré que par sa position longitudinale, la position en hauteur du centre de gravité n'a généralement pas d'influence.

Le constructeur définit une corde de référence : RC pouvant être la corde moyenne aérodynamique. Le centrage est exprimé en pourcentage de cette corde qui est repérée par rapport à une origine O située en général, en avant du nez de l'avion.

1.2.1 Repère utilisé pour localiser le centrage longitudinal :



a et l définissent la corde de référence ; de façon à éviter les différents systèmes d'unités de longueur nous exprimons la position du centre de gravité en pourcentage de RC.

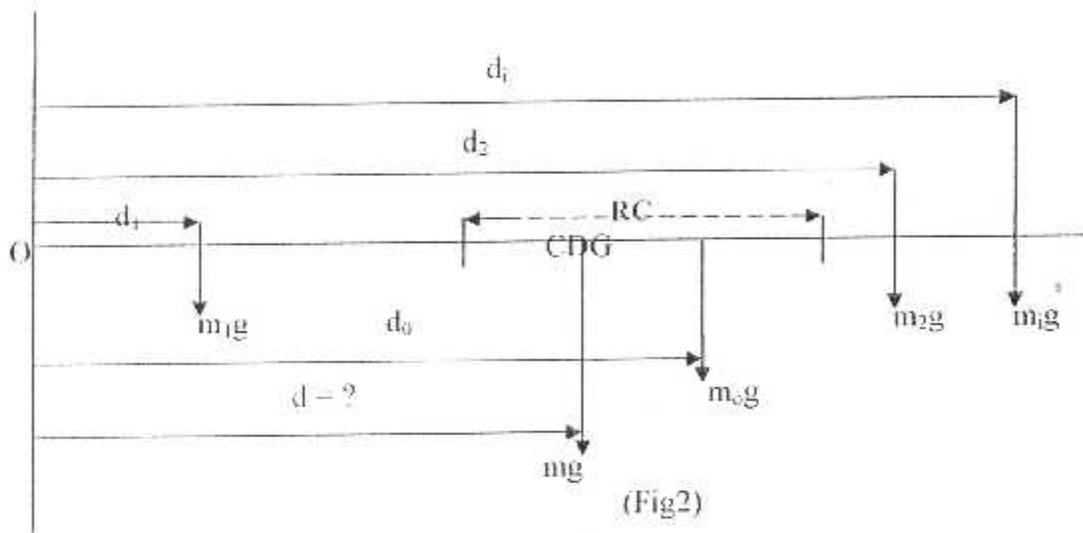
Soit :

$$\text{Centrage : } \boxed{C\% = 100 * ((d-a)/l)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Les limites de centrage sont de la même façon exprimée en pourcentage de la corde de référence.

L3 METHODE DE CALCUL DU CENTRAGE

Soit m_0 la masse de l'avion à vide et m_i les masses qui sont chargées à bord à des distances d_i de l'origine o.



Il suffit d'écrire que le moment par rapport à o de la force massique totale est égale à la somme des moments par rapport à o de toutes les forces massiques $m_i g$ soit :

$$M \sum m_i g = \sum M_i (m_i g) \quad \text{avec } m = \sum_{i=0}^n m_i \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$M \sum d = \sum m_i g d_i \quad \text{d'où } a = \sum m_i g d_i / m$$

Comme $C\% = 100 * ((d-a)/l)$

$$C\% = 100 * ((\sum_{i=0}^n (m_i g d_i / m) - a) / l) \quad \dots\dots\dots (1')$$

1.4 CALCUL EN EXPLOITATION DE LA MASSE ET DU CENTRAGE

En exploitation, Centrer un avion c'est :

- repérer la position du centre de gravité (CG)
- vérifier que celui-ci se trouve dans les limites admises.

Pour une configuration donnée le calcul de la masse et du centrage avion se fait :

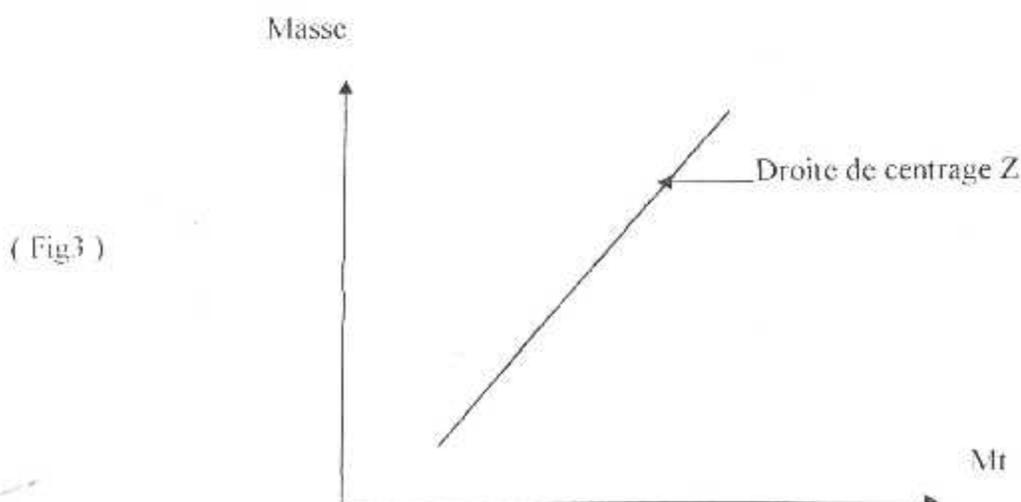
Pour la masse : par une sommation des masses :

$$\begin{aligned} \text{Masse avion} &= \text{masse OEW} + \text{masse à vide en ordre d'exploitation} \\ &+ \text{masse des passagers} \\ &+ \text{masse du fret} \\ &+ \text{masse du carburant} \end{aligned}$$

La masse OEW est déduite de la pesée. La masse des passagers est déduite de leur nombre (supposé connu) en prenant une masse forfaitaire par passager de 80kg. La masse du fret est supposée être pesée. La masse du carburant embarqué est contrôlée lors du chargement.

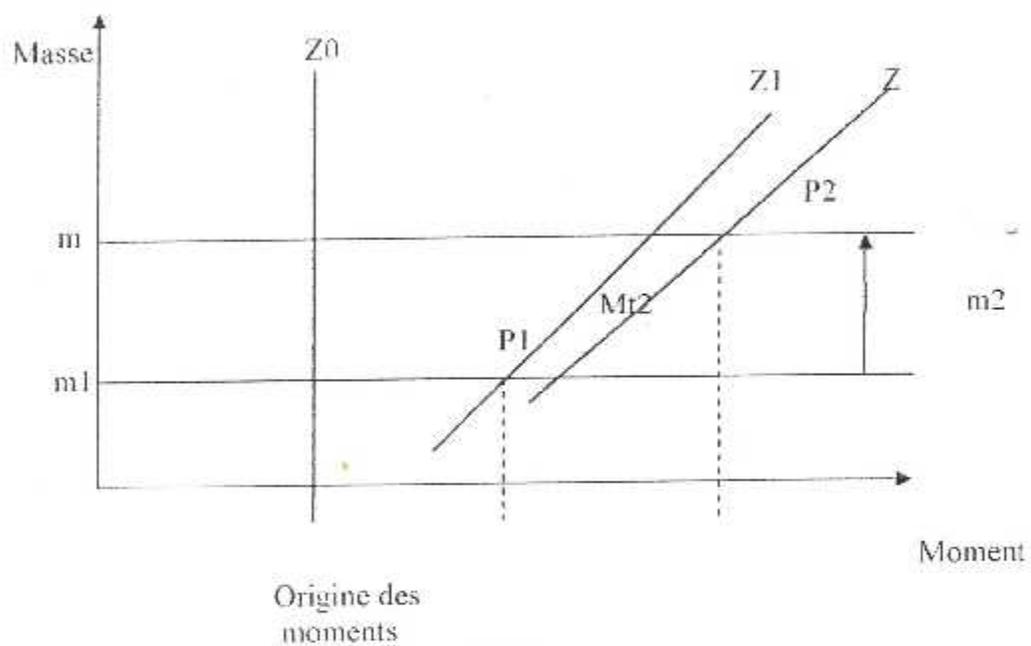
Pour le centrage par une représentation et une sommation des moments (OEW+ passagers + fret + carburant) et une lecture directe du centrage sur un diagramme à partir de la connaissance de la masse de l'avion et du moment de l'avion.

Le diagramme utilisé (Fig3) est une représentation orthogonale avec les moments sur l'axe horizontal et les masses sur l'axe vertical.



Cette représentation permet une lecture directe du centrage par addition d'une part des masses et d'autre part des moments.

Soit une masse m_1 centrée en Z_1 (point P_1 du diagramme) à laquelle on ajoute une masse m_2 de moment M_{t2} (Z_2-Z_0) :



(Fig4)

La masse résultante ($m = m_1 + m_2$) est centrée en Z (point P_2) tel que :

$$M_t = M_{t1} + M_{t2}$$

La détermination du centrage se réduit donc à une sommation de moments déterminés eux-mêmes en fonction de la masse au moyen de courbes.

Pour le calcul du centrage nous étudierons séparément l'influence des passagers, du carburant et du fret embarqués.

1.5 DEFINITION DES LIMITES CERTIFIEES ET OPERATIONNELLES

a. Définition des limites masses et centrages certifiés

Un domaine masse et centrage est défini. Toutes les performances de l'avion y sont vérifiées et certifiées pour chaque phase de vol : décollage, vol, atterrissage.

Les limites masse et centrage à respecter sont d'origines diverses. Elles sont présentées ci-dessous avec leurs principales origines.

Décollage

- masse maxi : limitation due aux efforts généraux
- centrage avant : charge maximale à respecter sur le train avant pour lever la roulette avant au décollage.
- Centrage arrière : charge minimale sur le train avant qui permet de diriger l'avion au sol.

Atterrissage

- Masse maxi : limitation due aux efforts généraux.
- Centrage avant : d'origine identique à la configuration décollage.
- Centrage arrière : d'origine identique à la configuration décollage.

Vol

- Centrage avant : limite de maniabilité, le centre de gravité ne doit pas dépasser une limite avant imposée par l'efficacité de la gouverne de profondeur.
- Centrage arrière : limite de stabilité, le centre de gravité de l'avion doit être en avant du foyer F de l'avion.

b. Définition des limites de centrage opérationnelles

Dans chaque phase de vol (décollage, vol et atterrissage) les limites de centrage certifiées doivent être respectées, or le centrage de l'avion dans chacune de ces phases de vol n'est pas connu de façon absolue mais seulement avec une certaine précision. Cette précision est différente suivant la phase de vol considérée.

Pour vérifier que le centrage de l'avion, correspondant à une configuration donnée, est bien contenu dans les limites certifiées, la technique habituellement utilisée est: plutôt que de comparer le centrage avion déterminé (CG) corrigé de l'imprécision soit $CG - \Delta$ et $CG + \Delta'$ aux limites certifiées avant (LC) et arrière (LC'), de comparer le centrage avion (CG) aux limites certifiées corrigées de la même imprécision soit $LC + \Delta$ (pour la limite avant) et $LC' - \Delta'$ (pour la limite arrière).

Cette technique permet, plutôt que de corriger le centrage de l'avion de chaque configuration, de faire porter la correction une fois pour toutes, sur les limites de centrage autorisées.

On doit en effet, vérifier que :

$$LC \leq CG_{réel} \leq LC'$$

LC limite certifiée avant

LC' limite certifiée arrière

CG centrage réel avion

Or, on détermine CG avion tel que :

$$CG - \Delta \leq CG_{réel} \leq CG + \Delta'$$

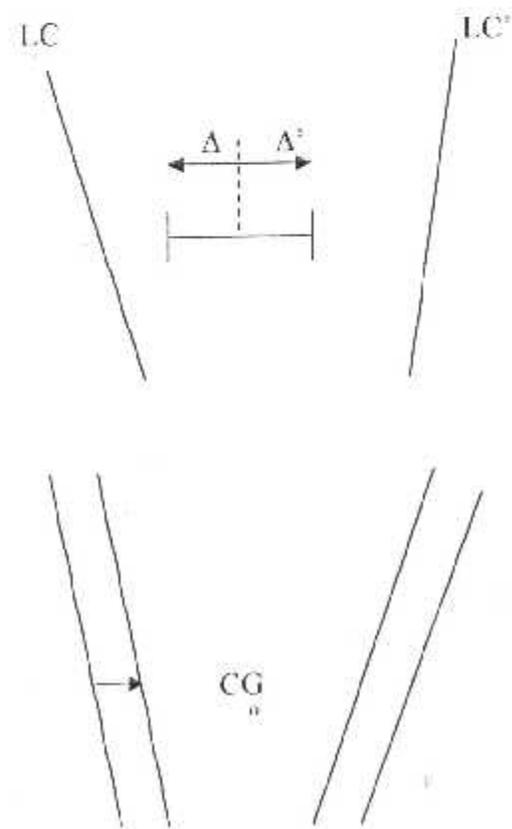
Δ et Δ' : précision sur le CG avion

On doit donc contrôler que

$$LC \leq CG - \Delta \text{ et } CG + \Delta' \leq LC'$$

Ce qui est équivalent à :

$$LC + \Delta \leq CG \leq LC' - \Delta'$$



(Fig5)

Ce sont ces limites corrigées de l'imprécision de la connaissance du centrage avion qui sont appelées limites opérationnelles :

$LC + \Delta$ = limite opérationnelle avant

$LC' - \Delta'$ = limite opérationnelle arrière

Cet écart entre limite opérationnelle et limite certifiée, qui correspond donc à la précision sur la connaissance du centrage de l'avion est différent suivant les phases de vol considérées.

Au décollage : La masse et le centrage de l'avion sont déterminés par la sommation de la masse et le calcul du centrage des éléments suivants :

- OEW (avion sans passagers ni fret ni carburant, les trains étant sortis, les hypersustentateurs rentrés)
- Chargement (passagers et fret). Le centrage étant connu avec plus ou moins de précision suivant les moyens que se donne la compagnie (contrôle des passagers suivant le nombre, sur une ou plusieurs zones ou chaque siège).
- Carburant embarqué.

Un phénomène fait varier le centrage de l'avion par rapport à la sommation précédente : la sortie des hypersustentateurs (becs et volets) en position décollage. L'imprécision sur le centrage de l'avion provient donc au décollage de la connaissance du centrage des trois premiers éléments et de la variation de centrage due à la sortie des hypersustentateurs. Dans le cas de système de pesée embarquée l'imprécision de la connaissance du centrage des trois premiers éléments est celle du système lui-même.

A l'atterrissage : la connaissance du centrage de l'avion est de même nature qu'au décollage. En effet, seule diffère entre ces deux phases de vol la quantité de carburant dans l'avion, et la position de sortie des hypersustentateurs (position atterrissage et non plus décollage)

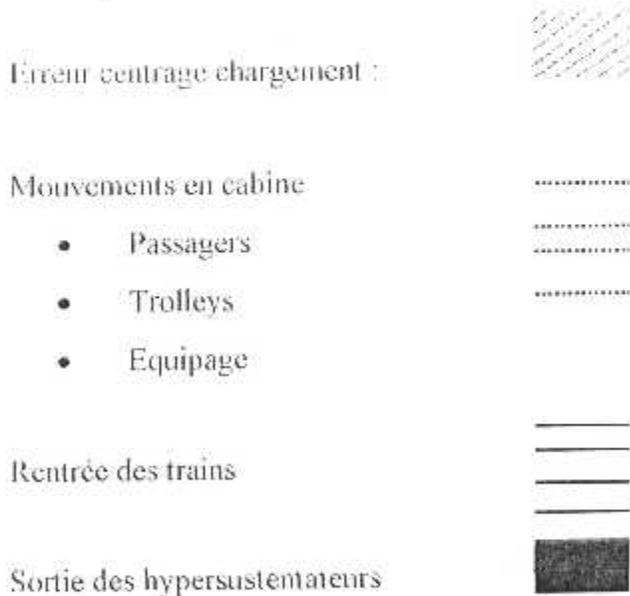
En vol : l'évolution du centrage de l'avion en fonction du carburant consommé est connue de façon précise : mais deux phénomènes faisant varier le centrage de l'avion ne sont pas alors pris en compte

- la rentrée des trains qui modifie le centrage de l'avion (généralement elle provoque une avancée du centrage avion).
- Les mouvements en cabine (déplacements des passagers, de l'équipage service des repas...)

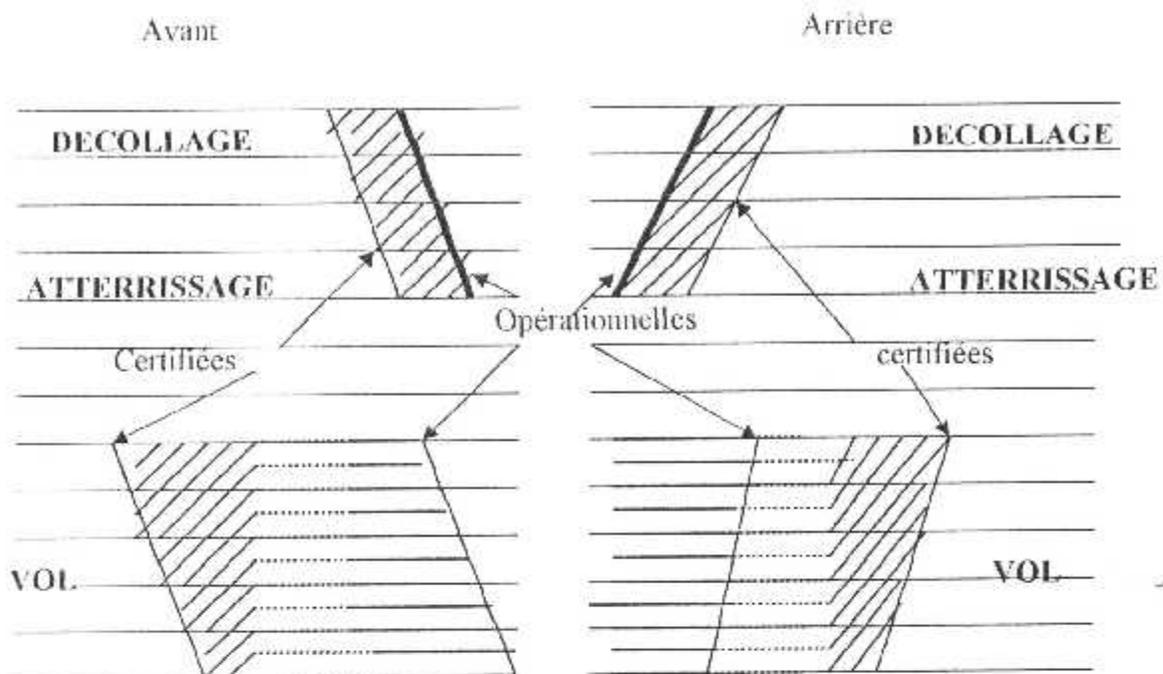
Par conséquent, en vol le centrage de l'avion déterminé à partir du décollage en tenant compte uniquement du carburant consommé diffère du centrage réel par :

- a.) l'imprécision sur la connaissance des centrages OEW et chargement.
- b.) la variation du centrage due à la rentrée des trains.
- c.) l'évolution possible du centrage en fonction des mouvements en cabine.

Une vision des écarts entre limites certifiées et opérationnelles pour chaque phase de vol, est présentée ci suite (Fig6)



Limites de centrage



(Fig6)

CHAPITRE II

CONCEPTION DU LOGICIEL

II.1 DETERMINATION PROGRESSIVE DE LA MASSE ET DU CENTRAGE

Pour déterminer le centrage et la masse de l'avion chargé, nous étudierons séparément les masses et moments (dans le repère de référence) des éléments suivants :

- Avion à vide (masse de base : OEW, moment induit : M_{tOEW})
- Passagers (masse des passagers : M_p , moment induit : M_{tp})
- Carburant (M_{carb} , M_{tcarb})
- Fret (M_f , M_{tf})

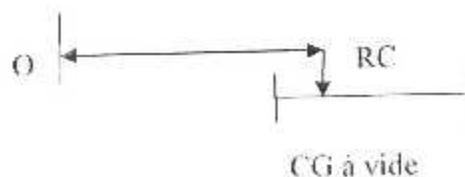
Et d'après CHAP I.1 .b, la connaissance des masses et moments élémentaires nous permettra d'accéder aux masses et centrages au décollage et sans carburant :

$$\begin{aligned} \text{Décollage : } M_{TO} &= OEW + M_p + M_f + M_{carb} \\ M_{tTO} &= M_{tOEW} + M_{tp} + M_{tf} + M_{tcarb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sans carburant : } M_{ZF} &= OEW + M_p + M_f \\ M_{tZF} &= M_{tOEW} + M_{tp} + M_{tf} \end{aligned}$$

1.1 Avion à vide

La base de données contient la corde, le bras du bord d'attaque de la corde, ainsi que la masse à vide de l'avion et le bras de levier de base correspondant.



1.2 Passagers

Pour connaître l'influence des passagers sur le centrage de l'avion, nous divisons la cabine en plusieurs zones pour lesquelles nous calculons les centres de gravité moyens ainsi que la masse des passagers.

a) Centres de gravité moyens des cabines

D'une part la base de données contient les données nécessaires à la description de la cabine : nombre de rangs de sièges R, nombre de colonnes de sièges L, nombre de couloirs. D'autre part, nous donnons aussi à partir du WBM (Weight and Balance Manual), la matrice position des sièges T, indiquant pour chaque siège son bras de levier, défini dans le repère géométrique de référence (lorsqu'il y a un siège en moins dans la largeur, l'élément matriciel correspondant est un zéro).

Le programme remplit en parallèle une matrice 'mat' d'existence des sièges (un siège : 1, pas de siège : 0).

Le centrage moyen de chaque zone est calculé en considérant qu'il correspond au centrage de la zone entièrement occupée (80kg par personne)

Par exemple, si nous considérons qu'une zone s'étend du rang 1 au rang R1 (1) nous aurons :

$$G(1) = \frac{\sum_{i=1}^{R(1)} \sum_{j=1}^L 80 * T(i, j)}{\sum_{i=1}^{R(1)} \sum_{j=1}^L 80 * mat(i, j)} \dots\dots\dots (3)$$

De même pour la zone2 nous effectuons la sommation de R(1)+1 à R1(2) et ainsi de suite jusqu'à ce que chaque zone ait été traitée.

b) Masses

Comme nous l'avons vu précédemment, nous fixons pour chaque passager une masse forfaitaire de 80kg. Nous déduisons donc de la masse des passagers dans chaque zone de leur nombre

Deux possibilités sont proposées par le logiciel pour décrire la répartition des passagers en cabine :

- i) soit l'utilisateur entre le nombre de passagers dans chaque zone
- ii) soit l'utilisateur entre le nombre total de passagers.

Dans ce dernier cas la répartition est effectuée par le logiciel grâce à la relation de distribution uniforme qui se présente comme suite :

$$\frac{(\text{Nombre siège zone} * \text{total passagers classe})}{\text{Total siège classe}}$$

Nous avons donc pour chaque zone i :

- Le nombre de passagers : $Np(i)$
- La masse : $Np(i)*80$
- Le moment : $Np(i)*80*G(i)$

En effectuant la sommation de ces valeurs sur le nombre de zones cabine Nbz , nous obtenons la masse totale des passagers ainsi que leur moment :

$$Mp = \sum_{i=1}^{Nbz} Np(i) * 80 \dots\dots\dots (4)$$

$$Mip = \sum_{i=1}^{Nbz} Np(i) * 80 * G(i) \dots\dots\dots (5)$$

1.3 Fret

Comme nous l'avons fait pour la cabine passagers, nous divisons les soutes en compartiments. Nous traitons à part la soute à vrac.

a) Centres de gravité

Pour calculer les centres de gravité des différents compartiments, il faut connaître les possibilités de chargement propres à chacun des compartiments.

Nous introduisons dans la base de données des données descriptives des soutes relativement précises (elles sont extraites du WBM). Pour chaque compartiment, nous précisons le nombre de configurations possibles (une configuration pour chaque type de conteneurs et palettes) ainsi que le bras moyen du compartiment $Gf(i)$.

Pour chaque configuration, les éléments suivants sont précisés : nombre de conteneur (ou palettes) tenant dans la longueur du compartiment, bras de leviers associés à chacune des positions.

En ce qui concerne la soute à vrac, nous mettons dans la base de données le nombre de zones vrac, ainsi que les masses maximales et les centrages associés à ces zones. Nous avons :

$$G_{\text{vrac}} = \sum_{i=1}^j M_{\text{vrac}i} \Delta l_i + \sum_{i=1}^j M_{\text{vrac}i} \dots \dots \dots (6)$$

avec j : nombre de zones à vrac

b) Masses

Les masses de fret embarquées dans chaque compartiment et dans la soute à vrac sont spécifiées par l'utilisateur pour chaque vol étudié.

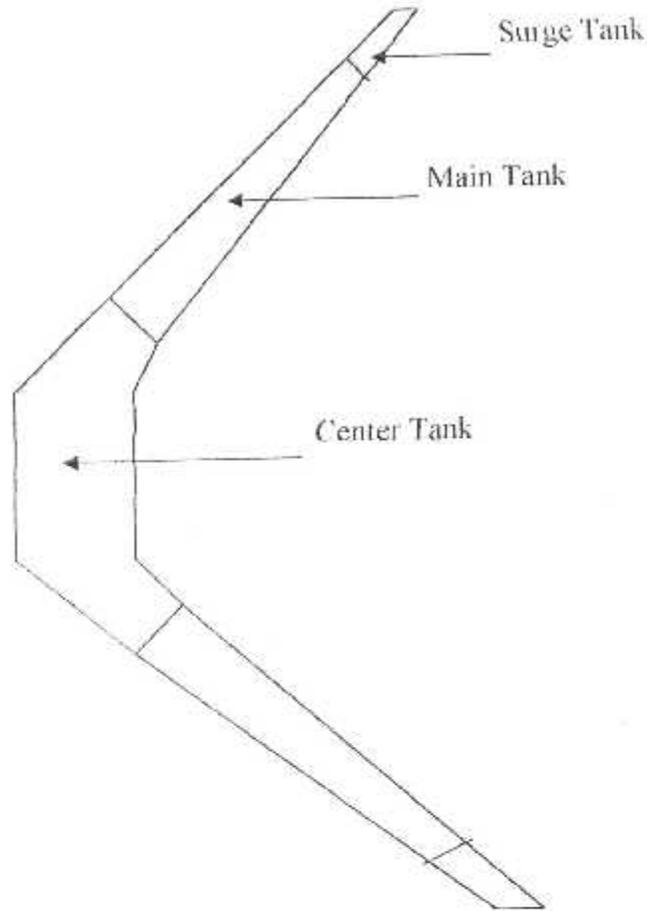
Nous obtenons les résultats globaux en considérant tous les compartiments (au nombre de Ncpt) et de la soute à vrac :

$$M_f = \sum_{i=1}^{N_{cpt}} m_f(i) + m_{\text{vrac}} \dots \dots \dots (7)$$

$$M_l^f = \sum_{i=1}^{N_{cpt}} m_f(i) * G_f(i) + m_{\text{vrac}} * G_{\text{vrac}} \dots \dots \dots (8)$$

1.4 Carburant

La disposition la plus courante des réservoirs est représentée ci-suite (Fig7)



(Fig7)

a) Centrage

La base de données contient le bras de levier carburant (brascarb) en fonction de la quantité de carburant indiquée sous forme de tableau dans le WBM. Étant donné que ce tableau ne peut contenir toutes les valeurs, dans le cas où nous avons une quantité de carburant intermédiaire par rapport aux valeurs du tableau, nous effectuerons une interpolation linéaire définie comme suite :

Avec X : quantité de carburant embarqué, Y : bras de levier à déterminer,
 $(X1, Y1)$, $(X2, Y2)$ quantités de carburant figurant dans le tableau avec leur bras
tel que $X1 < X < X2$. Alors nous avons :

$$Y1 = aX1 + b \text{ et } Y2 = aX2 + b \quad \text{où } a, b \text{ sont des nombres constants}$$

En résolvant ce système nous obtenons la valeur de a et de b . Donc finalement nous trouvons Y (brascarb): $Y = aX + b$

b) **Masse**

Pour chaque vol, la masse (M_{carb}) de carburant emportée est indiquée en kilogramme. D'où

$$M_{carb} - brascarb * M_{carb} \dots\dots\dots(9)$$

II.2 DETERMINATION DES DOMAINES OPERATIONNELS

2.1 Limites de centrage certifiées

Les limites de centrage certifiées sont données en % de RC (%mac) en fonction de la masse de l'avion. Elles sont données dans le WBM.

C'est sous cette forme que les limites sont entrées dans la base de données puis le logiciel les utilise.

2.2 Limites de centrage opérationnelles

Le calcul du chargement doit prendre en compte les erreurs et les différents mouvements susceptibles de modifier le centrage au cours du vol.

Ces erreurs élémentaires, combinées en fonction de chaque phase de vol, induisent des erreurs résultantes et les marges opérationnelles. Le logiciel calcul les limites opérationnelles. Les erreurs à prendre en compte dans les différentes phases de vol résultent de la combinaison :

- Des erreurs ci-après :
- erreur sur les conditions initiales (OEW)
- erreur sur les passagers
- erreur sur le fret
- erreur sur le carburant

- et des mouvements suivants
 - mouvement des trains
 - mouvements des hypersustentateurs (becs et volets)
 - mouvement en cabine

Les erreurs et les mouvements vers l'avant sont de signe négatif. Les erreurs ci-dessus sont considérées indépendantes. De même, pour le calcul des erreurs sur le fret et les passagers, les erreurs dans chaque compartiment, sont indépendantes. Pour le carburant, les erreurs commises sur chacun des réservoirs sont indépendantes.

Voilà par la suite le calcul des erreurs élémentaires de centrage.

a) Erreur sur l'OEW

En exploitation compagnie, la réglementation FAA permet pour une flotte d'avion de prendre un centrage forfaitaire si l'écart par rapport à cette valeur de l'OEW de chaque avion ne dépasse pas 0.5% RC.

b) Erreur sur les passagers

L'erreur résultante sur le centrage de l'avion due aux passagers est la somme quadratique des erreurs dues à :

- la dispersion de masse admise pour les passagers
- la répartition de ceux-ci à l'intérieur de chaque zone

i.) erreur due à la dispersion de masse

Nous avons vu qu'à l'embarquement, les passagers sont dénombrés par compartiment. L'erreur sur le centrage due à la dispersion de masse doit donc être étudiée par compartiment.

Cette erreur exprimée en moment, est l'erreur de masse multipliée par la différence d'abscisses entre le centrage moyen du compartiment étudié et

- la limite de centrage certifiée avant pour le calcul de l'erreur avant.
- la limite de centrage certifiée arrière pour le calcul de l'erreur arrière.

En ce qui concerne l'erreur de masse, nous prenons comme hypothèse que statistiquement, la masse des passagers suit une loi normale de moyenne 80kg, et d'écart type $\sigma = \pm 12\text{kg}$, ce qui pour 3σ (99.73% des cas) conduit à considérer une erreur sur la masse de chaque passager de $\pm 36\text{kg}$.

Les erreurs sur la masse de chaque passager étant indépendantes, l'erreur résultante est la somme quadratique des erreurs élémentaires, soit pour un nombre N de passagers : $\pm 36\sqrt{N}$.

Pour les limites de centrage certifiées avant et arrière, nous retenons les valeurs extrêmes de toutes les phases du vol que nous transformons en bras de levier dans le repère avion.

Ainsi, en posant :

- ErmtA (i) : erreur de moment avant du compartiment i
- ErmtR (i) : erreur de moment arrière du compartiment i
- Lav : centrage certifié avant
- Lar : centrage certifié arrière
- Np (i) : nombre de passagers dans le compartiment i

Nous avons

$$\text{ErmtA (i)} = - \left[36\sqrt{Np(i)} (G(i) - \text{Lav}) \right] \dots\dots\dots(10)$$

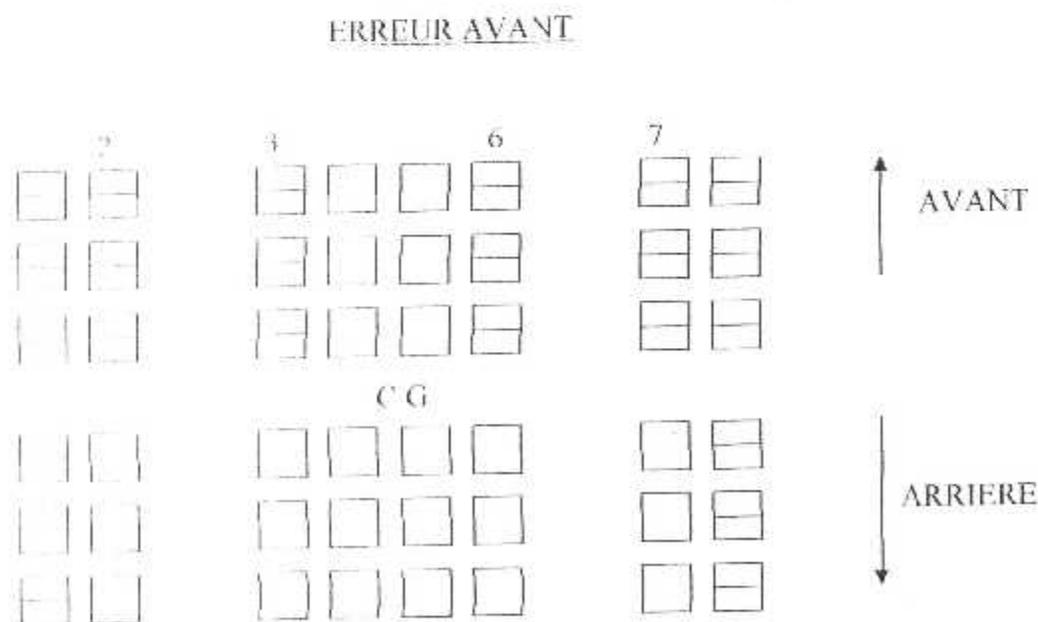
$$\text{ErmtR (i)} = \left[36\sqrt{Np(i)} (G(i) - \text{Lar}) \right] \dots\dots\dots(11)$$

ii.) erreur due à la répartition des passagers dans chaque compartiment

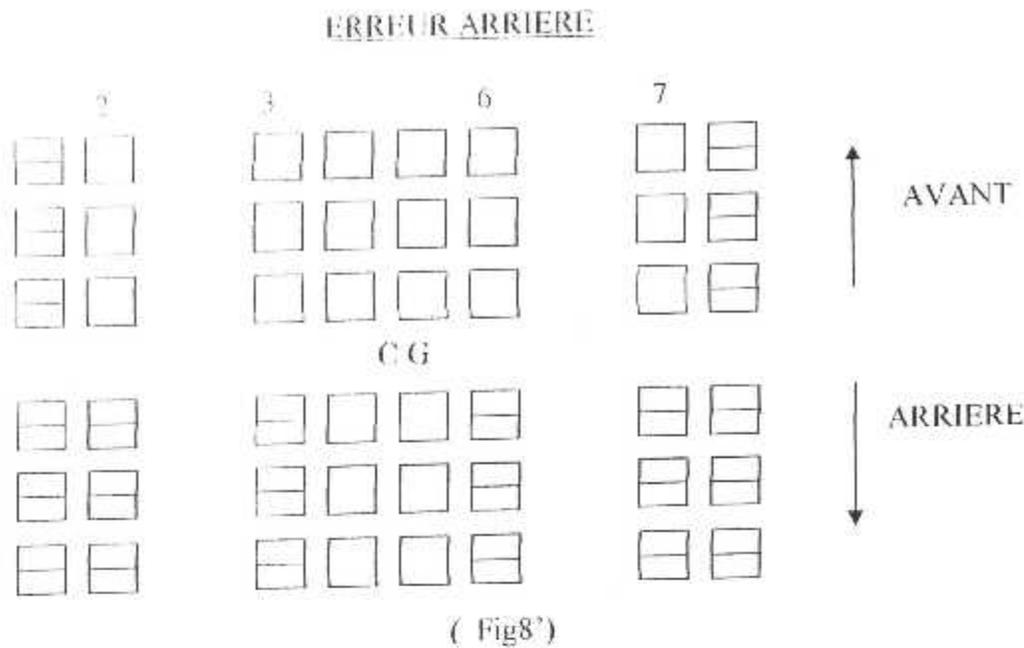
Lors de l'embarquement des passagers dans chaque compartiment, nous admettons que ceux-ci occupent en premier les places contiguës aux hublots, puis celles contiguës au couloir et enfin les places centrales. Dans la base de données, nous mettons les rangs contigus au(x) couloir(s).

Cette loi conduit à prendre en compte comme excentration maximum des passagers dans un compartiment, les sièges situés en avant ou en arrière du centrage moyen, des colonnes contiguës au(x) couloir(s).

Considérons par exemple le cas du compartiment schématisé ci-dessous (fig8).



(Fig8)



Les colonnes de sièges contiguës aux couloirs sont les colonnes 2,3,6 et 7. Toutes les positions hublots du compartiment sont occupées, donc elles s'équilibrent de chaque côté du centre de gravité et n'interviennent pas dans le calcul.

Comme le montre le schéma, nous conservons pour l'erreur avant les colonnes contiguës aux couloirs, situées en avant du centre de gravité, de même pour l'erreur arrière.

Pour un passager du compartiment k , assis en position $X(i, j)$, avec $J \in (2, 3, 6, 7)$, l'erreur est $75 * ((X(i, j) - G(k)))$.

Nous effectuons la sommation :

- pour l'erreur avant sur les $X(i, j) < G(k)$ avec $J \in (2, 3, 6, 7)$
- pour l'erreur arrière sur les $X(i, j) > G(k)$ avec $J \in (2, 3, 6, 7)$

Nous obtenons ainsi les erreurs de répartition avant et arrière pour chaque compartiment passager

L'erreur résultante, induite par le chargement des passagers est la moyenne quadratique des erreurs, dues à la dispersion sur la masse moyenne des passagers et des erreurs dues à la répartition des passagers dans chaque compartiment

c) Erreur sur le fret

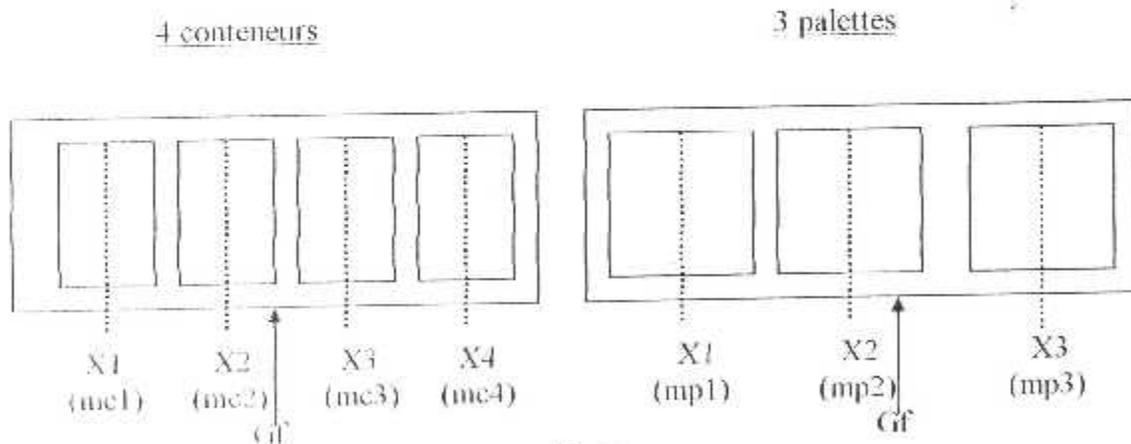
La masse du fret embarquée dans chaque compartiment est considérée comme étant connue par pesée donc avec une précision suffisante pour ne pas induire d'erreur sur le centrage de l'avion. L'erreur résultante sur le fret provient de l'erreur sur la répartition du fret à l'intérieur de chaque compartiment, l'erreur due à la tolérance de centrage propre à chaque équipement de chargement (palettes, conteneurs)

i.) erreur sur la répartition du fret

Cette erreur provient de l'écart entre la position des conteneurs chargés dans le compartiment et le centre de gravité du compartiment. Pour un conteneur de masse m , d'abscisse X , l'erreur est $m(X-Gf)$.

Considérons un compartiment permettant deux configurations (voir Fig9).

Masse conteneur : m_c , Masse palette : m_p



(Fig9)

Nous aurons donc comme erreur :

Erreur avant

$$m_c(x_1-Gf) + m_c(x_2-Gf)$$

Erreur arrière

$$m_c(x_3-Gf) + m_c(x_4-Gf)$$

Erreur avant

$$m_p(x_1-Gf) + m_p(x_2-2Gf)$$

Erreur arrière

$$m_p(x_3-Gf)$$

Ainsi, en plus de la donnée du nombre de réservoirs et des polynômes de remplissage, nous entrons pour chaque réservoir la capacité maximale (en kg) ainsi que le bras de levier moyen.

L'erreur de centrage due au carburant à deux origines, l'erreur sur la masse qui entraîne une erreur de centrage

L'erreur de centrage due à la masse est la combinaison des erreurs dans chaque réservoir

Cette erreur est du même type que l'erreur due à la dispersion de masse des passagers soit, exprimée en moment, c'est l'erreur de masse multipliée par la différence d'abscisse entre le centrage du carburant et la limite de centrage avant certifiée pour le calcul de l'erreur avant et la limite de centrage arrière certifiée pour le calcul de l'erreur arrière. Ainsi, avec

- ErmtA : erreur de moment avant du réservoir
- ErmtR : erreur de moment arrière du réservoir
- Erm : erreur résultante de masse
- Lav : centrage certifié avant
- Lar : centrage certifié arrière
- X : centrage du carburant

nous avons :

$$ErmtA = | Erm(X-Lav) | \dots\dots\dots (13)$$

$$ErmtR = | Erm(X-Lar) | \dots\dots\dots (14)$$

Nous considérons que l'erreur de masse pour chaque réservoir est de 1% de la capacité maximale du réservoir plus 1% de la quantité carburant. Le calcul est un peu différent selon que le réservoir est plein ou non.

- Pour un réservoir plein, l'erreur de masse est de 2% de la capacité maximale, du réservoir. Le centrage moyen correspondant est donné dans la base de données.

- Lorsque un réservoir n'est pas rempli, le calcul est un peu moins simple :

D'une part l'erreur de masse est de 1% de la capacité maximale plus 1% de la quantité de carburant que l'on a chargé dans le réservoir.

D'autre part le centrage moyen du carburant pour ce réservoir doit être calculé précisément à partir de la connaissance du centrage global par interpolation à partir du tableau de remplissage de carburant tiré du WBM, et introduit dans la base de données, ainsi que les centrages des réservoirs pleins.

Supposons par exemple que nous ayons deux réservoirs (centres de gravité respectifs $G1$ et $G2$, volumes $V1$ et $V2$) et que le troisième réservoir contienne un volume $V3$ (inférieur au plein réservoir).

Ce tableau de remplissage donne le centrage global du carburant G pour le volume $(V1+V2+V3)$. Nous avons :

$$(V1+V2+V3).OG = V1.OG1 + V2.OG2 + V3.OG3$$

$$\Rightarrow OG3 = ((V1+V2+V3).OG - V1.OG1 - V2.OG2) / V3$$

Nous calculons selon ce principe l'erreur avant et l'erreur arrière pour chaque réservoir. Nous traitons toutefois le réservoir de trim à part car son influence sur le centrage du carburant est particulière.

Connaissant les erreurs dues à la masse pour tous les réservoirs, nous étudions pour chaque phase du vol (décollage, vol, atterrissage) les configurations les plus contraignantes de façon à obtenir les erreurs maximales (avant et arrière).

Erreur avant

- Décollage, Vol

Sans trim : Réservoirs de voilure avec quantité de carburant initiale

Avec trim : réservoirs de voilure avec quantité de carburant initiale réservoir de trim contenant du carburant

- Atterrissage

Sans trim : Même situation qu'au décollage

Avec trim : réservoir de voilure avec quantité de carburant initiale réservoir de trim vide (le carburant est transféré vers l'avant avant l'atterrissage)

Erreur arrière

- Décollage

Pour tous les réservoirs (y compris le trim.) : quantité de carburant initiale

- Vol

Sans trim: Même situation qu'au décollage

Avec trim : Pas d'erreur au cours du vol du fait de la gestion du centrage par le CGCS (center of gravity control system)

- Atterrissage

Deux possibilités sont envisageables selon la quantité de carburant totale embarquée au départ

Soit la quantité de carburant au départ est telle que la limite arrière au décollage est la plus contraignante, si tel n'est pas le cas, l'erreur arrière à l'atterrissage est nulle.

Soit la quantité de carburant au départ est telle que la limite arrière à l'atterrissage est la plus contraignante. Dans ce cas, l'erreur est calculée en considérant que seuls les réservoirs externes sont pleins.

Nous calculons les erreurs globales, avant et arrière, commises sur le carburant du fait des erreurs de masse en effectuant, pour chaque phase de vol, les sommes quadratiques sur les réservoirs

Connaissant toutes les erreurs commises sur le chargement pour chaque phase du vol, il reste à prendre en compte les divers mouvements pour obtenir les tolérances globales à appliquer.

A partir d'une zone PNC, nous considérons que nous attribuons un PNC par couloir. Si l'avion a deux couloirs, la zone est servie par deux PNC, s'il n'en a qu'un, il n'y aura qu'un PNC.

Il reste ensuite à déterminer le mouvement des PNC, c'est-à-dire leurs positions d'origine et leurs positions extrêmes au cours du vol.

- Position extrême

S'il n'y a qu'un seul couloir, donc qu'un PNC dans la zone, nous supposons qu'il se rendra sur la limite de la zone la plus éloignée de sa position initiale.

S'il y a deux PNC, nous supposons alors qu'il y a compensation de leur mouvement et qu'ils vont donc au milieu de la zone.

- Position d'origine

Chaque position d'origine correspond à une position siège PNC. La provenance des PNC pour chaque zone dépend en fait du nombre de postes PNC se trouvant dans la zone étudiée.

Si le nombre de siège PNC correspond au nombre au nombre de PNC de la zone, les positions des sièges sont prises comme origine.

S'il y a plus de siège PNC que de PNC nécessaires, nous retenons les deux positions les plus pénalisantes (c'est-à-dire les plus éloignées de la position extrême).

S'il n'y a aucun siège PNC dans la zone, ou seulement un lorsqu'il faudrait deux, nous recherchons les PNC manquants dans la zone contiguë ou il reste le plus grand nombre de PNC. Cette fois-ci, nous retenons les positions les plus proches des positions extrêmes.

Pour chaque mouvement le moment correspondant est avec POS.or : position d'origine du PNC, POS.ext : position extrême du PNC

$$\text{Momt} = (\text{POS.ext} - \text{POS.or}) \times 75 \dots\dots\dots (15)$$

Si cette valeur est négative, nous avons un mouvement vers l'avant, si elle est positive c'est un mouvement vers l'arrière.

- **mouvements trolleys**

Nous avons dans la base de données les positions galleys (bras de levier) ainsi que le nombre de trolleys par galleys.

Les hypothèses adoptées pour les mouvements des trolleys sont très proches de celles émises pour les PNC. Pour chaque zone, nous considérons le mouvement d'un trolley par couloir et les positions extrêmes des trolleys sont bien évidemment les mêmes que celles des PNC.

Il reste à déterminer les positions d'origine des trolleys utilisés et nous raisonnons là aussi comme pour les PNC.

Si la zone définie est équipée d'un galley (ou deux) contenant un nombre suffisant de trolleys. Nous conservons les positions les plus éloignées des positions extrêmes.

Si la zone n'est pas suffisamment équipée, nous recherchons les trolleys manquants dans la zone contiguë où il reste le plus grand nombre de trolleys disponibles. Nous retenons les solutions les plus proches des positions extrêmes.

Pour chaque mouvement, le moment correspondant est, en conservant les notations précédentes et avec Nco nombre de couloir.

$$Moment = (POS_{ext} - POS_{or}) \cdot 80 \cdot Nco \dots \dots \dots (16)$$

Nous considérons que s'il ya deux trolleys dans la zone, ils proviennent du même galley, ce qui est fort probable.

Nous pouvons remarquer que par cette méthode, nous nous protégeons assez largement des mouvements cabine puisque nous ne tenons pas compte de la compensation réelle des mouvements.

f) Mouvements des trains

La rentrée des trains induit un moment négatif dont il faut tenir compte. Nous trouvons les moments induits par la rentrée du train avant et la rentrée des trains principaux dans le WBM.

La marge à prendre en compte pour couvrir la rentrée des trains d'atterrissage en vol est la somme des effets produits par le train avant et les trains principaux.

g) Mouvement des hypersustentateurs

Le WBM donne pour les divers braquages des becs et des volets le moment correspondant. Il faut considérer les moments induits par les hypersustentateurs pour le décollage et l'atterrissage. Dans ce cas nous retenons les valeurs correspondant aux braquages maximums.

A partir des erreurs élémentaires et des divers mouvements, nous répertorions les éléments à considérer dans chaque phase du vol dans le tableau suivant :

Erreurs	Décollage	Vol	Atterrissage
OEW	✓	✓	✓
passagers	✓	✓	✓
fret	✓	✓	✓
carburant	✓	pas d'erreur arrière avec trim.	✓
mouvement train		✓	
mouvements becs et volets	✓		✓
mouvements cabine		✓	

Pour calculer les erreurs globales correspondant à chaque phase du vol nous effectuons les sommes quadratiques sur les erreurs indépendantes (OEW, passagers, fret, carburant).

Les effets dus aux mouvements sont simplement additionnés car ils agissent directement sur le centrage (modification du moment).

Pour avoir finalement les domaines opérationnels, il reste à définir les masses maximales à ne pas dépasser.

Les valeurs des masses limites sont données dans le WBM.

II.3 DETERMINATION DU DOMAINE ZERO FUEL

Le problème consiste à déterminer les limites de centrage zéro fuel à respecter (pour la masse ZF connue) de façon à ce que pour la quantité de carburant embarquée, nous ne dépassons pas au cours du vol aucune des limites opérationnelles.

Le domaine ZF est donc déterminé à partir des limites opérationnelles, et de la quantité de carburant embarquée. L'étude du problème est différente selon que l'avion possède ou non un réservoir de trim (CGCS).

3.1 Avion équipé de CGCS

Lorsque l'avion est équipé d'un réservoir de trim, le CGCS gère les transferts de carburant de façon à maintenir le centrage dans un domaine fixé.

Le système ne fonctionne que lorsque l'avion se trouve au dessus du FL 200. Pour le décollage nous considérons que les passagers commencent à se déplacer en cabine avant que le FL 200 soit atteint. Pour l'atterrissage, les consignes lumineuses sont allumées très tôt donc il n'y a pas de mouvement en cabine en dessous du FL 200.

Compte tenu de ces hypothèses, nous nous assurons que les limites suivantes sont vérifiées :

a) Décollage

Avec la quantité de carburant embarquée au départ, nous vérifions à l'avant et l'arrière la plus contraignante des limites vol et décollage.

b) A l'atterrissage

Nous vérifions uniquement la limite d'atterrissage :

à l'avant avec les réservoirs vides.

à l'arrière avec les réservoirs externes pleins.

Pour le reste du vol, le CGCS assure que le centrage est maintenu dans le domaine opérationnel

En cas de panne du système, des indications précises sont données au pilote de façon à ce que le centrage reste dans les limites.

Pour déterminer le domaine ZF, nous vérifions la limite décollage (pour l'avant et pour l'arrière) pour la quantité de carburant embarquée. Nous nous assurons ensuite que les limites définies précédemment sont toutes vérifiées. Si ce n'est pas le cas, nous translatons la quantité de carburant à l'intérieur du domaine opérationnel.

Finalement à l'avant comme à l'arrière, la valeur limite du centrage ZF est donnée, après les éventuelles translations de la quantité de carburant.

3.2 Avion sans CGCS

Ce cas est plus complexe car il faut s'assurer que pour la quantité de carburant embarquée les limites avant et arrière sont vérifiées pour toutes les phases du vol.

Comme pour le cas précédent, nous vérifions la limite décollage (pour l'avant et pour l'arrière) pour la quantité de carburant embarquée sur l'intervalle [masse ZF, masse décollage]

Le but du problème est de déterminer la translation minimale à effectuer sur la courbe de variation de moment (index) induite par la quantité de carburant embarquée pour que cette courbe soit dans les limites opérationnelles sur tout l'intervalle considéré.

Pour cela, cette courbe carburant qui représente la variation de moment en fonction de la quantité de carburant en kg sera calée sur la limite avant (arrière) sur le point de masse de décollage. Il s'agira ensuite d'étudier la différence entre cette courbe et la limite sur tous les points jusqu'au point de ZF. Seule les différences négatives seront retenues, et la plus grande en valeur absolue sera utilisée pour effectuer une translation qui permettra de ne plus avoir de valeur négative. Ainsi toute la courbe carburant sera incluse dans le domaine opérationnel.

Nous avons :

avant : - décollage sur la limite décollage avant
- limite vol et limite atterrissage à l'avant

arrière : - décollage sur la limite décollage arrière
- limite vol et limite atterrissage à l'arrière

Soient DIFFav, DIFFar les fonctions définissant la différence entre la courbe carburant et les limites avant et arrière, et CARBav, CARBar les courbes carburant calées sur la limite de décollage avant et arrière pour la quantité de carburant initiale.

Donc :

$$\text{DIFFav} = \text{CARBav} - \text{Limite avant}$$

$$\text{DIFFar} = \text{Limite arrière} - \text{CARBar}$$

Nous étudions donc ces fonctions DIFFav et DIFFar dans le domaine inclus entre la masse de décollage et celle de ZF. Ce domaine est divisé en intervalles d'étude.

II.4 ETUDE DE LA POSITION DU CG PAR RAPPORT AU DOMAINE OPERATIONNEL

Après avoir indiqué la valeur du centrage au décollage, le programme vérifie qu'il restera dans les limites opérationnelles au cours du vol.

Nous comparons pour cela la valeur du centrage au zéro fuel avec les limites ZF déterminées dans le chapitre précédent.

4.1 Centrage dans les limites

Lorsque le centrage est dans les limites, nous proposons dans ce cas de fournir les informations sur le LMC (last minute change).

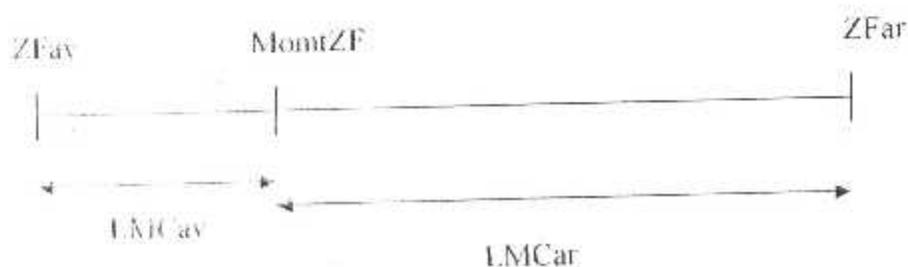
Détermination du LMC :

Le but est de déterminer, à partir du chargement initial de l'avion, la charge supplémentaire que nous pouvons nous permettre d'emmener sans recalculer le centrage, ceci en étant sûr de rester dans les limites.

Le programme calcule le LMC en nombre de passagers ou en masse de fret selon le choix de l'utilisateur.

A partir du centrage zéro fuel et des limites associées, nous définissons une marge avant et une marge arrière (correspondant chacune à un moment).

Ces marges figurent sur le schéma ci – après :



Le LMC correspond à un chargement supplémentaire qui induit au maximum un moment égal à l'une des marges. Il est à noter que cette méthode tient compte uniquement de la variation de centrage induite par le chargement supplémentaire et non de la variation de masse globale de l'avion.

Pour le calcul du LMC, trois possibilités sont envisageables selon la position du centrage ZF initial par rapport aux limites :

- soit il n'y a pas de marge à gauche (Centrage trop proche de la limite avant)
- soit il n'y a pas de marge à droite (Centrage trop proche de la limite arrière)
- soit nous disposons des deux marges

Nous proposons dans chacun des cas, des chargements supplémentaires non optimaux, mais sûrs et simples de façon à diminuer les risques d'erreurs et d'interprétation de la part de l'utilisateur.

a) Centrage trop proche de la limite avant

Lorsque la marge avant est trop faible pour correspondre soit à un passager (80kg en cabine + 12 kg en soute), soit à 100kg de fret, nous conseillons à l'utilisateur de charger l'avion uniquement à l'arrière.

Ainsi, le LMC passager est calculé en considérant que les passagers s'assoient en zone arrière et que leurs bagages sont chargés dans le compartiment le plus arrière.

Cette méthode est certainement limitative mais elle évite les risques d'erreur qu'engendrerait par exemple une proposition précise de répartition des passagers sur plusieurs zones.

b) Centrage trop proche de la limite arrière

Le raisonnement est tout à fait similaire à celui du cas précédent en envisageant un chargement des passagers en zone avant ou un chargement de fret dans le compartiment le plus avant.

c) Centrage au milieu du domaine ZF

Ce cas est le moins limitatif. Nous calculons le LMC correspondant à la marge arrière avec un chargement en zone arrière ainsi que le LMC correspondant à la marge avant avec un chargement en zone avant. Nous conservons la plus petite de ces valeurs de façon à avoir un résultat général, valable pour toutes les zones. Ainsi, l'utilisateur peut charger le nombre de passagers indiqué ou la masse de fret donnée dans n'importe quelle zone de l'avion.

Remarques

- Les propositions tiennent compte des masses maximales admises dans chaque compartiment. Il reste toutefois à l'utilisateur à accommoder son chargement en fonction du chargement réel du compartiment et de la place disponible.

- Les solutions proposées tiennent compte soit de la capacité de chaque zone, soit de la capacité globale de la cabine.

Nous limitons d'autre part si besoin est, la valeur du LMC pour vérifier les limites de masses MZFW et MTOW.

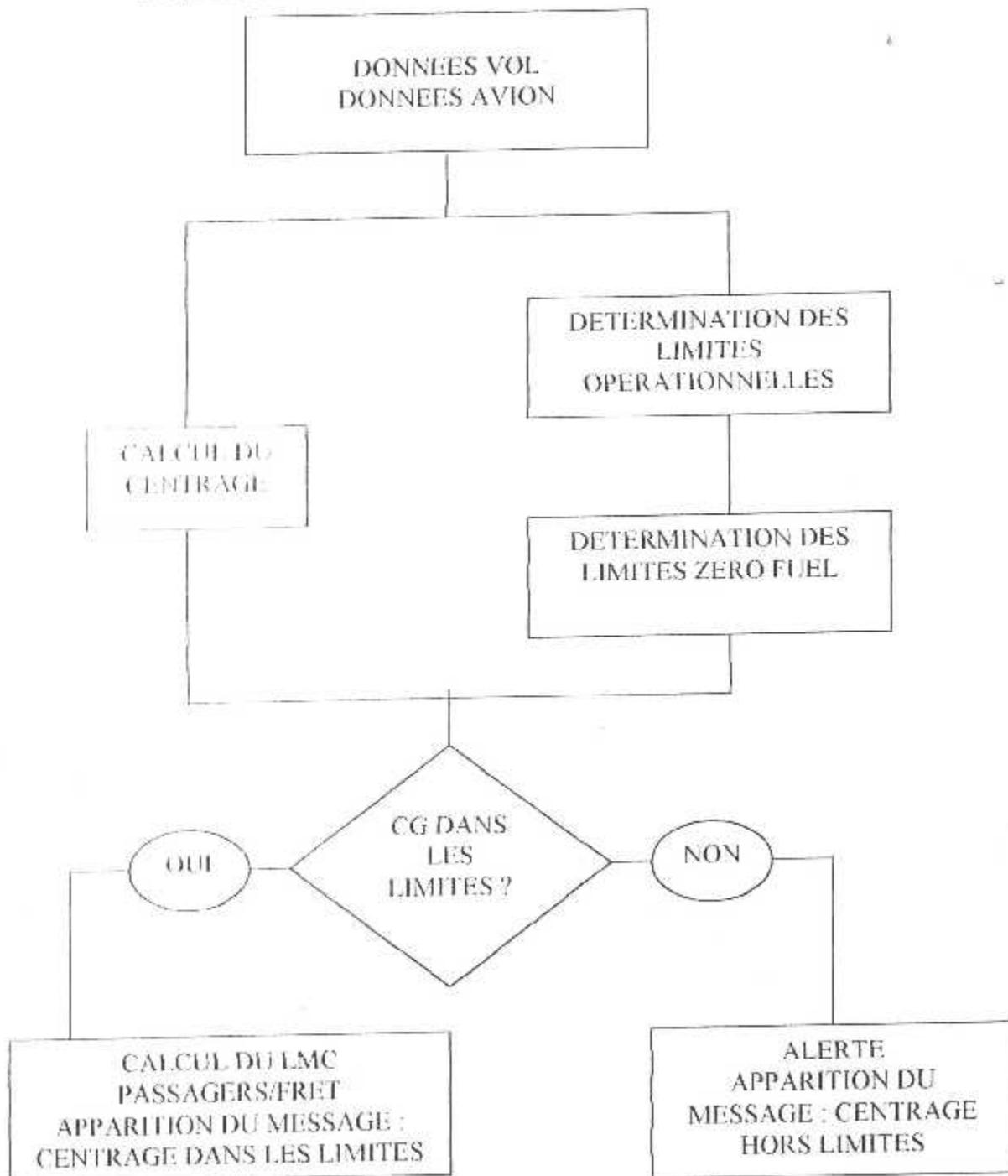
4.2 Centrage hors des Limites

Lorsque le centrage est hors des limites, le LMC ne sera donc pas calculé. Dans ce cas de figure un message d'alerte ainsi que les valeurs des limites seront donnés afin de pouvoir avoir une idée sur la limite dépassée (avant ou arrière) et faciliter ainsi la correction du chargement suivant la politique adoptée par l'exploitant.

II.5 ORGANIGRAMMES DE PROGRAMMATION

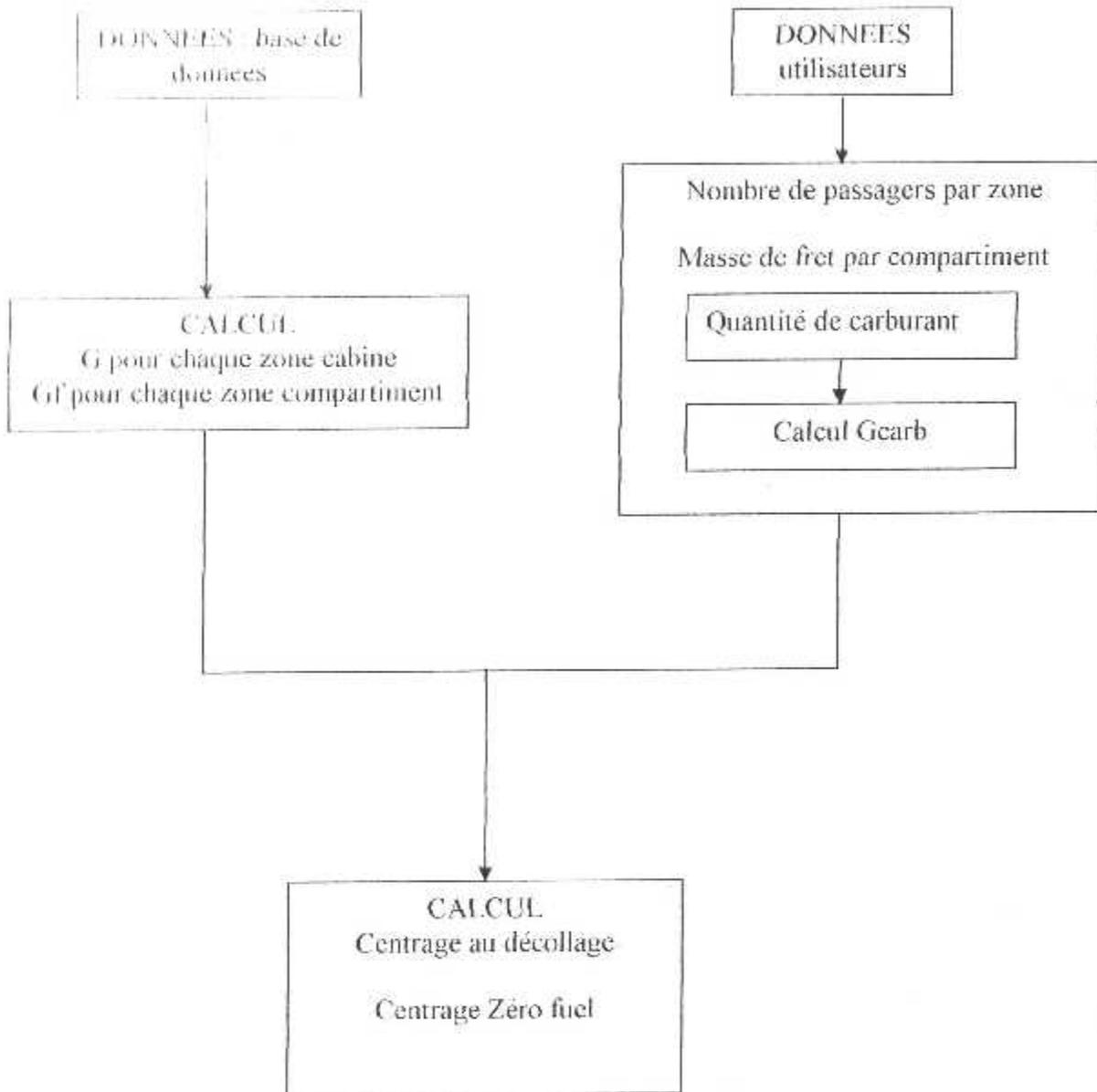
Nous présentons dans cette partie les organigrammes de certaines parties importantes du programme. Ces organigrammes permettent de donner une idée globale de la programmation expliquée dans les sous-chapitres précédents.

5.1 Organigramme général :



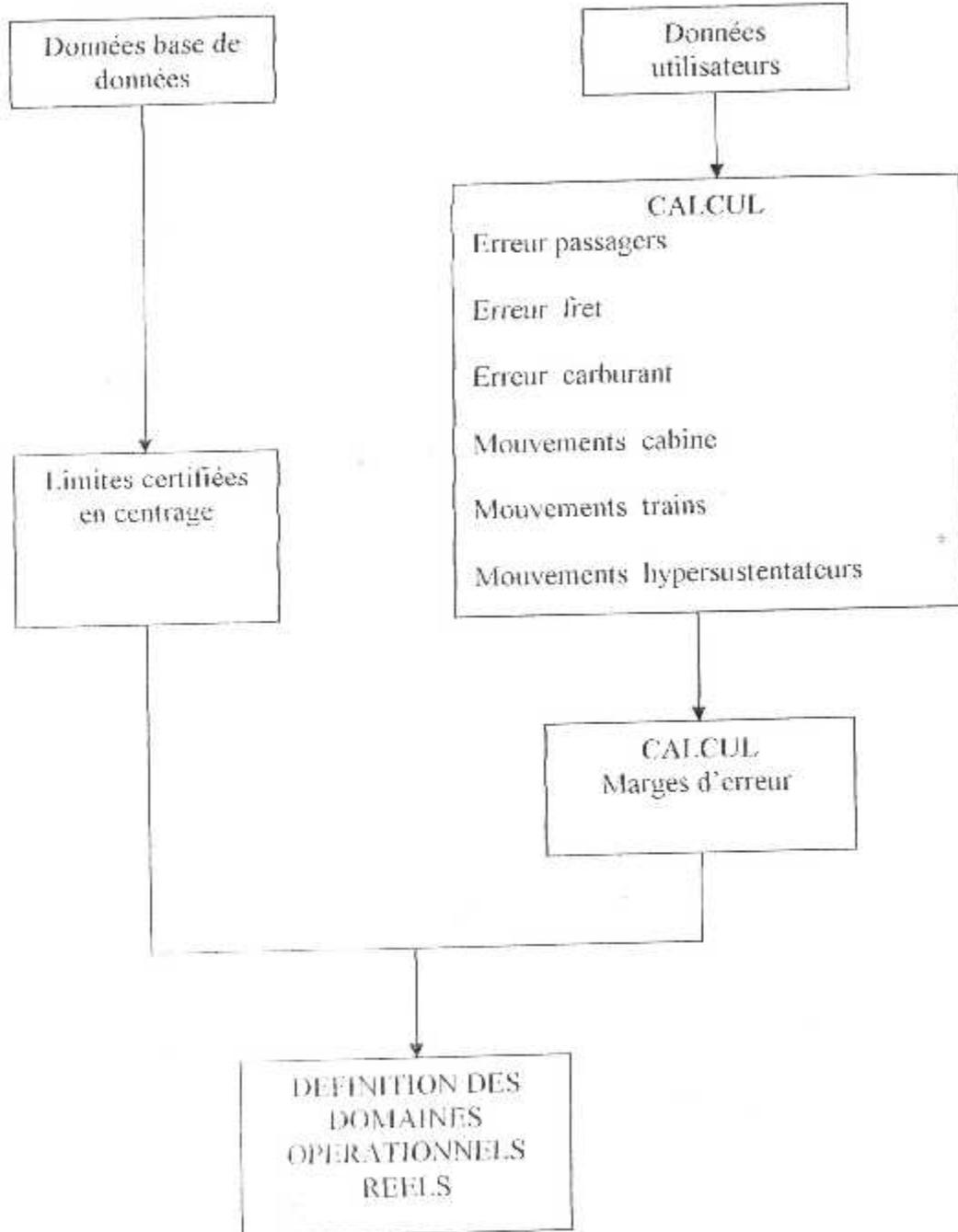
Org.1

5.2 Calcul du centre de gravité



Org 2

5.3 Détermination du Domaine Opérationnel



Org 3

II.6 VALIDATION DES RESULTATS

Cette partie est aussi importante que la programmation elle-même. Elle consiste à comparer les résultats obtenus par la programmation et ceux obtenus par d'autres méthodes de détermination de centrage approuvées. Nous avons donc choisi la méthode de détermination manuelle (Feuille manuelle de devis de poids et de centrage) pour un B373-800 réalisée par la compagnie Air Algérie (voir exemple de la feuille à l'annexe).

Le problème qui survient lors de ces comparaisons est que les hypothèses de calcul des éléments ne sont pas toujours les mêmes. Ce qui fait qu'il ne s'agit pas de comparer juste les valeurs du centrage obtenues mais aussi comparer les limites opérationnelles. Donc il s'agit surtout de réaliser une équivalence entre ces méthodes. Ceci revient à montrer que si un chargement est dans les limites pour une méthode, il sera dans les limites pour l'autre méthode et si il est hors limites pour l'une, il le sera aussi pour l'autre.

Nous avons donc réalisé plusieurs cas de traitement avec ces deux méthodes pour pouvoir dire que la programmation présentée donne des résultats satisfaisantes.

Nous donnons un exemple de test ainsi réalisé.

Exemple 1:

B737-800 version 24F/120Y

Poids de base : 41812 kg, correction : 80 kg

Carburant décollage : 16774 kg, délestage : 13000 kg

Nombre de passagers : 129 dont 24 en first (OA) et 105 en classe touristique avec 55 en OB, 50 en OC.

Masse en soute : 1000 kg en compartiment 1 et 1200 kg en compartiment 4

Résultats par traitement manuel :

Centrage décollage : 25 %mac

Centrage ZF : 23 %mac

Centrage dans les limites

Résultats par traitement logiciel :

Centrage décollage: 23,96 %mac

Centrage ZF : 21,8 %mac

Centrage dans les limites

Cette différence entre les valeurs est surtout due au fait que au niveau du traitement manuel la cabine OB est considérée comme n'agissant pas sur le centrage de l'avion ce qui n'est pas le cas pour le traitement informatique. Ce raisonnement se justifie dans le traitement manuel par le désir de simplifier les tâches étant données que l'effet de cette cabine est assez faible.

CHAPITRE III

MANUEL D'UTILISATION DU LOGICIEL

III.1 GENERALITES

1.1 Caractéristique du logiciel

- Langage de programmation : DELPHI 5
- Taille du fichier exécutable :
- Nombre de Fiches : 13 fiches
- Caractéristique du PC (Personal computer) : logiciel d'exploitation Windows.

1.2 Caractéristique de la Base de données

- Type de la Base de données : Paradox 7 (base de données locales)
- Nombre de Tables : 11 tables.

Pour faciliter le travail à l'utilisateur au moment soit de la modification, soit de la rentrée d'un nouvel appareil, nous allons donner un petit aperçu sur les champs des tables qu'il aura à utiliser.

- Table1 : limites certifiées

Pour éviter la répétition des enregistrements, cette table possède le champs 'immatriculation' comme Clé primaire, et est composée de champs suivants :

- Nbrep : ce champ correspond au nombre de points des limites certifiées décollage, et à chaque point est associé une masse(champ) en tonne notée M1,M2,M3,... jusqu'à M10, et une position du centre de gravité(champ) donnée en %mac notée C1, C2, C3, ... jusqu'à C10.

- Np : ce dernier correspond au nombre de points des limites certifiées atterrissage, comme le précédent , à chacun de ces points correspond une masse(champ) notée N1,N2,N3,... jusqu'à N10, et une position du centre de gravité(champ) donnée aussi en %mac notée H1,H2,H3,... jusqu'à H10.

- Lavant (%mac): ce champ correspond à la valeur de la position du centre de gravité de la limite avant au décollage, donnée en %mac.

- Larr (%mac): ce champ correspond à la valeur de la position du centre de gravité de la limite arrière au décollage, donnée en %mac.

- Masse Lavant (tonne): comme son nom l'indique, il correspond à la masse associée à la limite avant.

- Masse Larr (tonne): comme son nom l'indique, il correspond à la masse associée à la limite arrière.

• **Table2 : PFE_carburant**

Cette table possède aussi 'immatriculation' comme Clé primaire, et est composée de champs suivants :

- Quantite1.Quantite2, etc. jusqu'à Quantite55(en kg) : Ce champ permet d'introduire ou de modifier la quantité de carburant

- Index1, Index2, etc. jusqu'à Index55 : Ce champ permet d'introduire ou de modifier les bras en mètre ou inch (non des index comme son nom l'indique) correspondant à la quantité de carburant introduite.

- Quantitemax (kg): Ce champ permet d'introduire ou de modifier la capacité max de carburant des réservoirs

- Indexmax : Ce champ permet d'introduire ou de modifier les variations d'index correspondant à 'quantitemax' de carburant introduite.

- **Table3 : PFE_moment_trainhyp**

A l'instar des tables précédentes, elle possède 'immatriculation' comme Clé primaire elle est composée de champs suivants :

- Mtrainav : permet l'introduction du moment induit par le train avant
- Mtrainar : permet l'introduction du moment induit par le train arrière
- Mhypv : permet l'introduction du moment induit par le braquage des becs
- Mhypar : permet l'introduction du moment induit par le braquage des volets
- Masse train (kg): permet l'introduction de la masse totale des trains
- Masse hyp (kg): ce dernier permet l'introduction de la masse totale des hypersustentateurs.

- **Table4 : PFE_caract_avion**

Cette table possède 'immatriculation' comme Clé primaire. Elle est composée de champs suivants :

- MTOW (kg): ce champ permet d'introduire la masse maximale au décollage
- MLW (kg): celui la permet d'introduire la masse maximale à l'atterrissage
- MZFW (kg): il permet l'introduction de la masse maximale sans carburant.
- Corde (m ou inch): il permet l'introduction de la longueur de la corde de référence donnée par le constructeur.
- Type : il permet l'introduction du type d'avion.

- **Bras bord (m ou inch)**: il permet l'introduction de la distance qui sépare le bord d'attaque de la corde moyenne du repère de référence, donnée par le constructeur

- **Masse base (kg)**: comme son nom l'indique, il permet l'introduction de la masse de base de l'avion.

- **RefD (m ou inch)**: il permet l'introduction du bras de levier de la constante D

- **IndexcoefA**: il permet l'introduction du bras de levier de la constante A

- **IndexcoefB**: il permet l'introduction du bras de levier de la constante B

- **Nbrecouloir**: il permet l'introduction du nombre de couloir de l'avion.

- **Table5 : PFE_rangDG**

Elle permet l'introduction des bras de levier des sièges de gauche et de droite. Elle a l'immatriculation comme Clé primaire, et possède comme champs :

- **Amenagsiege**: il permet d'introduire la version de l'avion exploite

- **Nrang**: permet à son tour d'introduire le nombre de rang gauche et droite de l'avion.

- **Rangg1, Rangg2, etc. jusqu'à 50**: ils permettent d'introduire les bras de levier (m ou inch) des rangées de gauche.

- **Nsiegeg1, Nsiegeg2, etc. jusqu'à 50 aussi**: ils permettent d'introduire le nombre de sièges correspondant à chaque rangée de gauche.

- **Rangd1, Rangd2, etc. jusqu'à 50**: ils permettent d'introduire les bras de levier (m ou inch) des rangées de droite.

- Nsiaged1, Nsiaged2, etc. jusqu'à 50 aussi : ils permettent d'introduire le nombre de sièges correspondant à chaque rangée de droite.

• **Table6 : PFE_rang_centre**

Elle permet l'introduction des bras de levier des sièges centraux, et a 'immatriculation' comme Clé primaire, et possède comme champs :

- Nrang : permet l'introduction du nombre de rangées des sièges centraux.
- Range1, Range2, etc. jusqu'à 50 : ils permettent d'introduire les bras de levier des rangées de sièges centraux.
- Nsiagec1, Nsiagec2, etc. jusqu'à 50 : ils permettent d'introduire les bras de levier des rangées de centre (en m ou inch)

• **Table7 : PFE_amenag_soute**

Elle permet de décrire l'aménagement des soutes, et a aussi 'immatriculation' comme Clé primaire, et possède comme champs :

- Nombresoute : permet l'introduction du nombre de compartiment (5 au maximum)
- Maxi1 à Maxi5 (kg): capacité maximum des compartiments
- CG1 à CG5 (m ou inch): bras moyen des compartiments
- Champs sous la forme PosXYmodZ et PosXYbrasZ : constituent respectivement le modèle et le bras moyen correspondant à ce modèle pour le compartiment X et la position Y et l'indice Z du modèle.
- Existesoute1 à Existesoute5 : permet de confirmer l'existence d'un compartiment

• **Table8 : PFE_donnees_amenag**

Elle permet de décrire l'aménagement des cabines, et a 'immatriculation' comme Clé primaire, et possède comme champs :

- Nbrezoneoil : correspond au nombre de zones toilettes
- ZoneNbreoilX : correspond au nombre de toilettes de la zone numéro X
- ZoneoilXbrasoilY : correspond au bras (m ou inch) de la toilette numéroY de la zone X
- ZoneoilXbrasinf, ZoneoilXbrasup : correspondent aux limites inférieure et supérieure de la zone X (en bras de levier en m ou inch)
- Nbrezonepnc : correspond au nombre de zone PNC
- ZonepncXbrasinf, ZonepncXbrasup : correspondent aux limites inférieure et supérieure de la zone X (en bras de levier en m ou inch)
- ZonepncXbraspncY : correspond au bras de levier (m ou inch) de la position du PNC numéro Y de la zone PNC numéro X
- ZonepncXbrasgal : correspond au bras de levier du galley de la zone PNC

• **Table9 : PFE_donnees_avion_immatricule**

Elle permet de décrire aussi l'aménagement des cabines et a 'immatriculation' comme Clé primaire, et possède comme champs :

- VersionAmenagement : permet d'introduire la version d'exploitation de l'avion

- NsiègeFirst, NsiègeC, NsiègeY : permettent d'introduire la capacité maximum de passagers correspondant respectivement aux classes first, économique, touristique pour la version donnée.

- Nsiégetotal : nombre total de sièges passagers.

- Nzonecab : correspond au nombre de zone cabine.

- ZonecabXnom : correspond au nom de la zone cabine X

- ZonecabXmaxisiège : correspond au nombre de siège de la zone cabine X

- ZonecabXlimsup : correspond à la limite supérieure de la zone cabine X

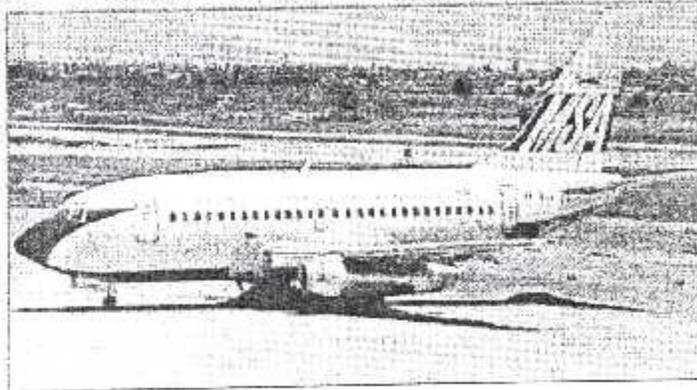
III.2 UTILISATION

Comme il avait déjà été dit dans l'introduction, le logiciel est divisé en trois parties à savoir :

- Traitement d'avion
- Base de données
- Archives

A partir de l'interface de présentation (ci-suite) du logiciel un utilisateur peut accéder à la partie choisie

LOGICIEL D'AIDE AUX TRAVAUX DE CHARGEMENT ET DE CENTRAGE DES AVIONS



<input type="checkbox"/> TRAITEMENT D'AVION	CODE	<input type="text" value="000000"/>
<input type="checkbox"/>	CODE	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> ARCHIVES	CODE	<input type="text"/>
<input type="button" value="A propos"/>	<input type="button" value="Appliquer"/>	<input type="button" value="Quitter"/>

2.1 Traitement d'avion :

C'est la partie principale du logiciel car tous les calculs nécessaires à la détermination des limites, des masses, et du centrage se font à ce niveau.

L'interface de la partie Traitement d'avion a été réalisé à l'image des feuilles de traitement manuel telles que celle du devis de masse ou encore celle de la feuille de centrage. Cette ressemblance a été adoptée pour faciliter aux agents des opérations aériennes, le passage du traitement manuel au traitement informatique et vis versa.

A l'exécution nous verrons une fiche semblable à celle qui suit:

Palette : Limitation / Charge Offerte

Limitation / Charge Offerte	Repartition Pas	Repartition Masse	Devis De Masse / Carriage	Rectifications dernière minute	Tracé Centrage
		MMS (kg)			MMSa (kg)
masse de base (kg)		MSC (kg)			MMA (kg)
corrections (kg)		carburant décollage (kg)		MMSD (kg)	délestage (kg)
masse de base corrigée (kg)		limitation utile (kg)		MMD (kg)	
carburant décollage (kg)					
masse en opération (kg)		masse en opération (kg)			
		charge offerte (kg)			

Appliquer

Comme son nom l'indique il s'agit du calcul de la limitation utile du jour et de celui de la charge offerte. Il suffit de remplir les champs (en kg):

- Correction masse de base (s'il y en a)
- Carburant décollage, et Délestage
- MSC : qui est la limitation sans carburant du jour
- MMD : qui est la limitation décollage du jour
- MMD : qui est la limitation atterrissage du jour

Après avoir rempli ces champs vous pouvez appuyer sur le bouton **Appliquer**. Le logiciel va donc déterminer la limitation utile du jour ainsi que la charge offerte tout en effectuant certains contrôles tels que la capacité réservoir, le rapport carburant décollage-délestage. Et au cas où il y a problème de capacité ou autre, un message sera envoyé et les calculs ne se verront pas jusqu'à résolution par l'utilisateur.

Nous passons ensuite à la palette suivante

Palette : Répartition Pax

Limitations/Charge Offerte | Répartition Pax | Répartition Masse | Dev. De Masse / Centrage | Répartition dernière minute | Tracé Carriage

Destination	Passagers			Dist. Pax Classes		
	M/F	CH	INF	F	C	Y
ESCALE						
TOTAL						

Répartition des passagers

Total Pax: F: 0 C: 0 Y: 0

Répartition automatique

TabSheet? TTabSheet			

Répartition manuelle

Appliquer

Cette palette sert à la description des passagers (nombre total de passagers, nombre de passagers par classe), ainsi qu'à la répartition de ces passagers suivant les différentes zones cabine

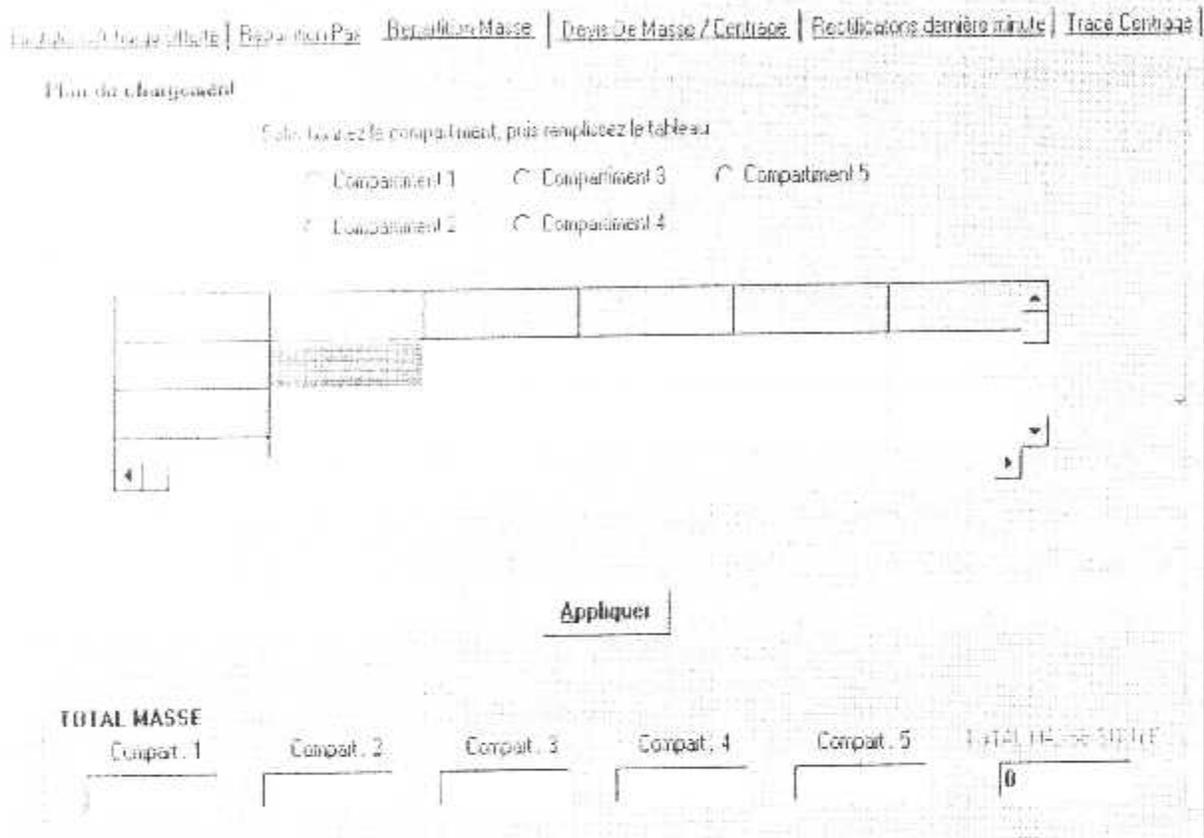
Il s'agit là encore d'une représentation type feuille manuelle qui devra être remplie comme telle par destination (en cas d'escale la partie inférieure y est destinée) avec la différence entre Homme/Femme (M/F), Enfant (CH), Bébé (INF), ainsi que par classe. Il sera juste nécessaire de remplir les champs First (première classe : F), Economique (C) s'il y en a.

Après appuyez sur '**Appliquer**', le logiciel déterminera alors les nombres totaux de passagers et la répartition automatique suivant la loi de répartition de ces passagers. Dans le cas où vous voulez faire une répartition propre à vous, activez la case 'Répartition manuel' en cliquant dessus avec la souris puis mettez votre répartition.

Il sera fait aussi à ce niveau des contrôles de capacité.

Nous passons ainsi à la palette suivante.

Palette : Répartition Masse



Cette palette permet la rentrée des masses en soute. Il se fait par compartiment. Lors de l'exécution, seules les cases des compartiments existants sur un avion seront actives. Il s'agit donc de rentrer les données par compartiment, et plus précisément par position en indiquant le modèle de matériel utilisé (palettes : P6, P9 ... ; conteneurs : P3, AKE ...), la masse, le contenu.

La masse devra se composer de la masse du matériel à vide et de la masse du contenu.

Au cas où il s'agit d'un compartiment vrac écrire 'VRAC' comme modèle à la première position du compartiment (Exemple : ci-dessus).

Ensuite cliquer sur 'Appliquer'. Le logiciel vous calculera toutes les masses totales en soule. Il contrôlera entre autre les capacités masses des compartiments avec les valeurs rentrées. Puis passage à la palette suivante

Palette : Devis De Masse / Centrage

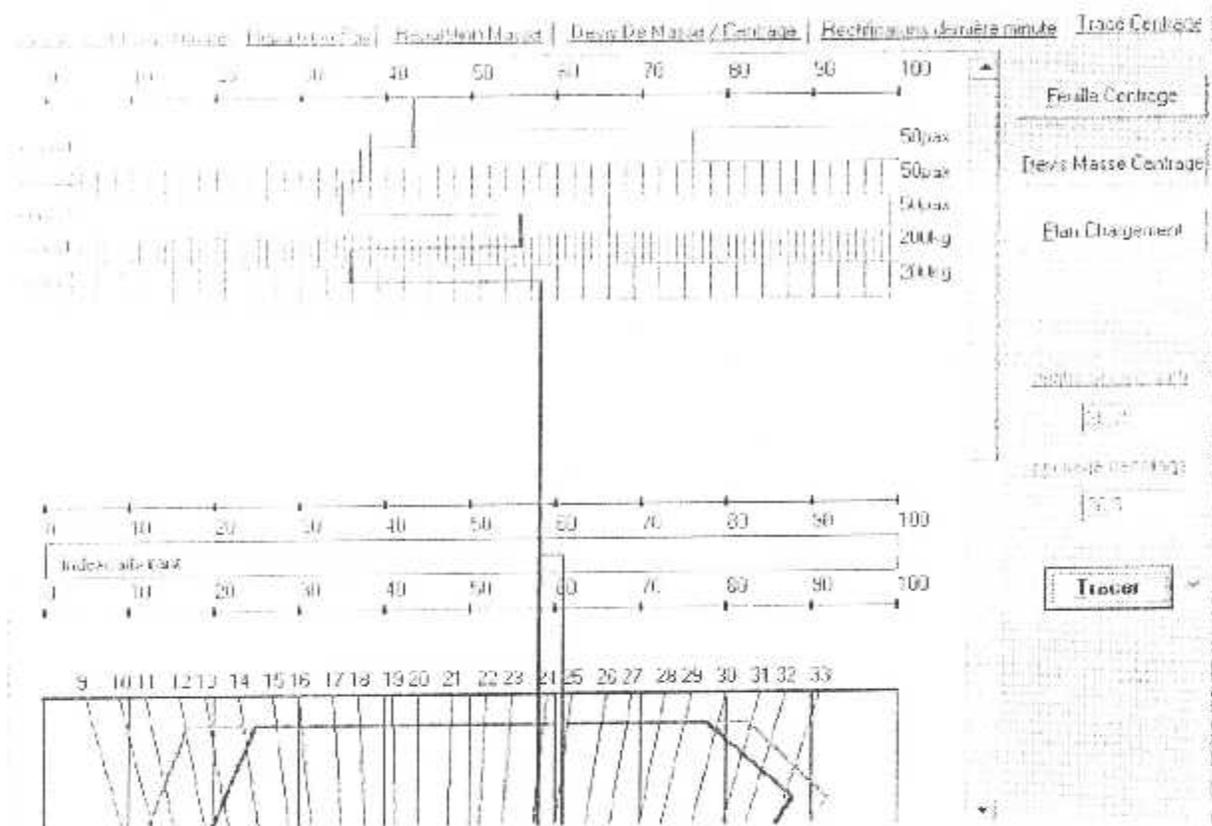
Lié à l'atome / Charge Générale	Repartition Fax	Repartition Masse	Devis De Masse / Centrage	Rectificateurs de répartition	Tracé Centrage
SANS CARBURANT		DECOLLAGE		ATTERRISSAGE	
Total poids passagers (kg)	<input type="text"/>	Carburant au décollage (kg)	<input type="text"/>	Délestage (kg)	<input type="text"/>
Total Masse Soule (kg)	<input type="text"/>				
Charge transportée (kg)	<input type="text"/>				
Poids de base corrigé (kg)	<input type="text"/>	Poids décollage (kg)	<input type="text"/>	Poids atterrissage (kg)	<input type="text"/>
Poids sans carburant (kg)	<input type="text"/>	MMD (kg)	<input type="text"/>	MMA (kg)	<input type="text"/>
MSC (kg)	<input type="text"/>				
Index de base :	<input type="text"/>	Correction Index de Base :	<input type="text"/>	Index de Base corrigé :	<input type="text"/>
Centrage					
CENTRAGE					
Masse Décollage (kg)	<input type="text"/>	Masse Sans Carburant (kg)	<input type="text"/>		
Centrage Décollage :	<input type="text"/>	Centrage Sans Carburant	<input type="text"/>		
CENTRAGE HORS LIMITES YES					

Toute la partie Devis de Masse se fait suivant que nous faisons rentrer les données (données limitation, passagers, masse soule).

Pour la partie Centrage, il sera question de réaliser une correction de l'index de base si nécessaire et de cliquer sur le bouton 'Centrage'. Ainsi le Centrage Décollage et le Centrage Sans Carburant seront calculés et seront ensuite respectivement comparés aux limites opérationnelles déterminées à partir des données de chargement rentrées :

- a) Si le centrage se trouve dans les limites déterminées, il sera possible de consulter le Last minute change (LMC) sur la palette 'Last Minute Change', de visualiser le tracé du centrage et d'imprimer les documents nécessaires au vol

Palette Tracé Centrage



Cette dernière palette nous permet de visualiser le tracé de la feuille de centrage en appuyant sur le bouton 'Tracer'

Elle nous permet aussi d'accéder aux feuilles imprimables nécessaires dans l'exploitation à partir des boutons 'Feuille Centrage', 'Devis Masse', 'Plan de chargement' (voir exemples à l'annexe).

2.2 Base de données avion

L'option base de données avion est choisie, soit pour introduire les données d'un nouvel appareil, soit pour modifier les données d'un avion déjà existant dans la base de données.



Pour mieux sécuriser les données, après avoir choisi cette option, il faut introduire le mot de passe adéquat, puis cliquer sur le bouton 'Appliquer' pour accéder :

- Au traitement d'un nouvel appareil.
- la modification des données d'un avion existant.

Après avoir cliquer sur le bouton apparaît la fiche suivante.



Avion Existant (modification/suite d'enregistrement)

Nouvel Avion

7/2000

Appliquer

Sortir

A ce niveau, l'utilisateur choisit selon le besoin soit l'option 'Nouvel appareil', soit 'Avion existant'. Après ce choix il doit impérativement remplir tous les champs qui apparaissent en dessous de son choix, puis il clique sur 'Appliquer' pour continuer l'opération choisie.

Après avoir cliquer sur le bouton (>>) apparait la fiche suivante

DONNEES TABLE RANGDG :

◀ ◁ ▷ ▶ + - ✎

Indice de la ou	Adresse de la	Nombre	(Longitude) (Rang)	Rang1	Rang2	Rang3	Voies1	Voies2	Ran
270	247-1007	1	act.	20	200	0	204	2	

DONNEES TABLE RANG CENTRE :

◀ ◁ ▷ ▶ + - ✎

Indice de la ou	Adresse de la	Rang	Rang1	Nagec1	Rang2	Nagec2	Rang3	Nagec3	Ran
	107-1507	34	14,13	2	15,095	2	16,06	4	

DONNEES TABLE LIMITE CERTIFIES :

◀ ◁ ▷ ▶ + - ✎

Indice de la ou	M1 top	M1	M2	M3	R
TE	6	40	60	70	7

Suivi << >>

L'utilisateur remplit tout simplement les champs, puis clique sur le bouton comportant les deux signes supérieur (>>) pour continuer le travail. Si l'appareil que vous traitez ne comporte pas autant de rangées que la base de données, mettez zero (0) dans les autres rangées.

Après avoir cliquer sur le bouton (>>) apparaît cette dernière fiche

Données Table Cabact Avion

Table Avion	Type	Locale	Etendue	Maschine	Configuration	Indicateur	Indice1	Indice2	Indice3	Indice4	Indice5	Indice6
1711	272000	1553	5271	4104	6565		22801	65317				

Données Table Nombre Passager

Table Avion	Passager	Myair	Myair	Myair	Masseban	Massehp
1711	1300		6006		1127	702

Données Table Nombre Avionnet

Table Avion	Avionnet	Indice1	Indice2	Indice3	Indice4	Indice5	Indice6	Indice7	Indice8	Indice9	Indice10
1711		0522	20	0707	1000	8571	7500	6584	200		

Finir Terminé

Sortir

<<

L'utilisateur rempli tout simplement les champs, puis clique sur le bouton terminer pour mettre a terme son opération. Pour sortir définitivement de cette opération, cliquez sur le bouton sortir à l'aide du bouton comportant les deux signes inférieur (<<), nous pouvons faire un retour à la fiche précédente.

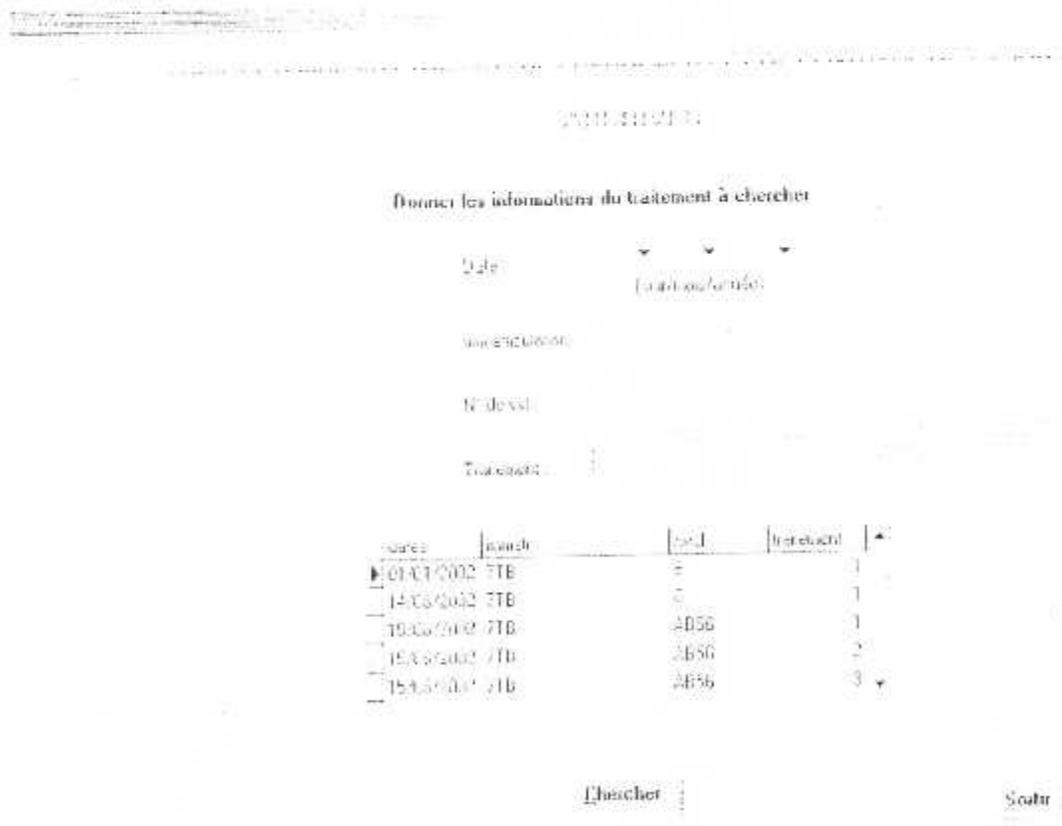
Le travail s'effectuera de la même manière que ça soit le traitement d'un nouvel appareil ou d'un avion existant (modification).

2.3 Archives

L'archivage, ayant un rôle très important au sein d'une compagnie aérienne, nous avons prévu l'option archives pour garder les informations de tous les avions traités.



Comme les données avions, les archives doivent être sécurisées, à cet effet pour accéder aux archives il faut donner le code d'accès adéquat, puis cliquer sur le bouton 'Appliquer'. Il apparaît ainsi la fiche suivante.



Comme nous montre la fiche, c'est le début d'une opération très simple qui consiste à donner la date (jour/mois/année) de traitement, l'immatriculation, le numéro de vol, le nombre de traitement de l'avion et à cliquer sur le bouton 'chercher'.

NB : Au cas où l'utilisateur ne se rappellera pas de toutes ces données, il peut tout d'abord donner la date de traitement, ensuite le logiciel lui donnera les autres en lui montrant uniquement les informations correspondant à cette date dans le tableau (DBgrid) qui est juste en bas de 'traitement'.

En cliquant sur '**Chercher**' apparaît la fiche d'archive imprimable suivante.

ARCHIVE: TRAITEMENT D'AVION DU 19/06/2002

Matricule: **NR 3341** Immatr. avion: **710** Type avion: **B737-400** Version: **24/020Y**
 NVA: **1200** Adresse: **CDG** Siège: **DRO**

<u>DESSE 300</u>			
AVION	11-03-1998	710	
PROG	11-03-1998	5520	
CEL	11-03-1998	32500	
DE	11-03-1998	4100	
AVION	11-03-1998	14400	MAX 5000
PROG	11-03-1998	1070	
CEL	11-03-1998	7100	MAX 7200
DE	11-03-1998	1000	
AVION	11-03-1998	1000	MAX 6000

CELIAGE 3000

CELIAGE 27-01-04	DATE 27	AVT:	ARR:
CELIAGE 19-02-02	DATE 19	AVT:	ARR:

FIN DE L'ARCHIVE

Nous voyons pour cet exemple que cette dernière comporte les données du devis de masse, le centrage sans carburant, le centrage au décollage, et comportera s'il en aura le changement de dernière minute appelé last minute change.

CONCLUSION

Le travail réalisé répond aux objectifs recherchés à savoir l'amélioration de la précision des calculs et la minimisation des risques d'erreur, et répond aux exigences de traitement des exploitants d'avions. Il apporte par rapport aux méthodes conventionnelles (manuelles) les avantages suivants :

- le calcul automatique et précis du centrage au décollage.
- la vérification que les limites opérationnelles de centrage sont toujours vérifiées dans toutes les phases du vol.
- le calcul des limites opérationnelles relatives au chargement réel.
- une analyse du résultat avec :
 - lorsque le centrage est dans les limites, l'indication du IMC permettant un chargement supplémentaire sans recalculer le centrage.
 - lorsque le centrage est en dehors des limites, l'apparition d'un message signalant que le centrage est en dehors des limites.

Ce logiciel constitue un progrès dans le domaine de l'automatisation des travaux de chargement des avions où un grand travail reste encore à faire. Une extension sur réseau local ou distant de ce logiciel serait une bonne perspective en vue de son amélioration.

BIBLIOGRAPHIE

- ① les opérations aériennes (TOME 1) , limites d'utilisation
par : M . Martin (ENAC , édition 1987).

- ② Manuel d'exploitation AIR BUS A310-200(mémoire de fin d'études 1992) de
M^r Barache M^r Aouf
M^r Aitlamou M^r Kellal

- ③ Logiciel d'aide au chargement de l'avion
par : Florence Leblond (ENAC juin 1989).

- ④ Manuel d'exploitation B737-800 (AIR ALGERIE)

- ⑤ Delphi, de la version 2 a la version 5
par M^r Bardou (édition Berti).

- ⑥ Manuel constructeur B737-800 (BOEING).

- ⑦ Loading Schedule Substantiation for Air Algerie – B737-800 (BOEING)

- ⑧ RAMP : règle de l'art du métier en piste (AIR FRANCE édition 1997).

ANNEXES

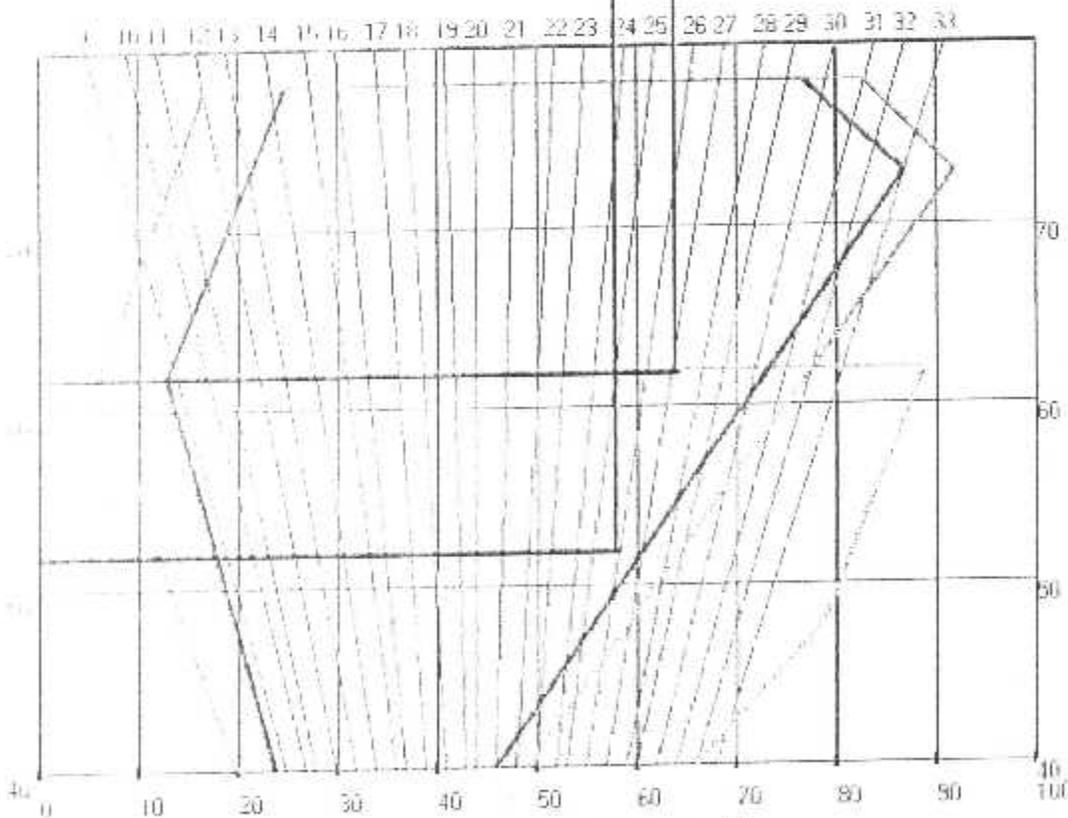
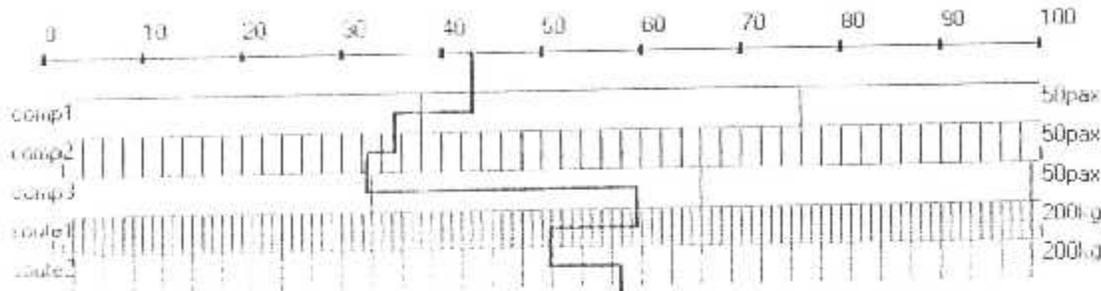
FEUILLE DE CENTRAGE
(BALANCE CHART)

ADRESSE : DAKAR

ORIGINE : BAMAKO

N°Vol : AM331

DATE : 01/07/02



MASSE SANS CARBURANT (kg) 51812

MASSE DECOLLAGÉ (kg) : 61812

CENTRAGE SANS CARBURANT (% mac) 25,87

CENTRAGE DECOLLAGÉ (% mac) : 27,14

PREPAREE PAR :

APPROUVEE PAR :

DEVIS DE MASSE ET CENTRAGE
(LOAD AND BALANCE)

ADRESSE : DAKAR

ORIGINE : BAMAKO

N°Vol : AM331

DATE : 01/07/02

	<u>MASSE (kg)</u>		
MASSE EN COMPARTIMENTS	2000		
PAX/BAG EN CABINE	8000		
CHARGEMENT TOTAL	10000		
MASSE DE BASE CORRIGEE	41812		
MASSE REELLE SANS CARB	51812	MAX	61688
FUEL CARBURANT DECOLLAGE	10000		
MASSE REELLE DECOLLAGE	61812	MAX	72801
DEL ESTAGE	8000		
MASSE REELLE ATERRISS	43812	MAX	65317

CENTRAGE (%mac)

CENTRAGE ZF 25,87	LIMITE ZF :	AVT : 8,54	ARR : 27,08
CENTRAGE TO 27,14	LIMITE TO :	AVT : 6,36	ARR : 32,43

CHANG DERN MINUTE (LMC)

Capacité LMC passager calculée :	14	cabine avant	0	cabine arrière
Capacité LMC Fret calculée (kg):	1120	compart. avant	0	compart. arrière

PREPAREE PAR :APPROUVEE PAR :

ARCHIVE : TRAITEMENT D'AVION DU 01/07/2002

Compagnie : AIR MALI

Immatr. avion : 7TB

Type avion :

Version : 24F/120Y

N°Vol : AM331

Adresse : DAKAR

Origine : BAMAKO

MASSE (kg)

MASSE EN COMPARTIMENTS	2000		
PAX/BAG EN CABINE	8000		
CHARGEMENT TOTAL	10000		
MASSE DE BASE CORRIGEE	41812		
MASSE REELLE SANS CARB	51812	MAX	61688
CARBURANT DECOLLAGE	10000		
MASSE REELLE DECOLLAGE	61812	MAX	72801
DELESTAGE	8000		
MASSE REELLE ATERRISS	43812	MAX	65317

CENTRAGE (%mac)

CENTRAGE ZF 25,87

LIMITE ZF : AVT : 8,54

ARR : 27,08

CENTRAGE TO 27,14

LIMITE TO : AVT : 6,36

ARR : 32,43

CHANG DERN MINUTE (LMC)

Capacité LMC calculé :

1- UNIFORM DISTRIBUTION OF ECONOMY CLASS PASSENGERS
REPARTITION UNIFORME DES PASSAGERS ECONOMIQUES

LE TABLEAU CI DESSOUS ETABLI SELON UNE LOI DE REPARTITION UNIFORME PERMET, POUR UN NOMBRE DONNE DE PAX DE CLASSE "ECC" DE DETERMINER LE NOMBRE DE PAX A PRENDRE EN COMPTE DANS CHAQUE ZONE DE CHARGE DE LA CABINE.

THE TABLE BELOW WAS ESTABLISHED USING A UNIFORM DISTRIBUTION THEORY. FOR A GIVEN NUMBER OF ECONOMY CLASS PAX, DETERMINE THE NUMBER OF PAX TO LOAD WITHIN EACH LOADING ZONE OF THE CABIN.

Interior Configuration	CABINE CABIN	NOMBRE DE PASSAGERS EN CLASSE ECONOMIQUE / NUMBER OF PASSENGERS IN ECONOMY CLASS											
		MAX	20	40	60	80	100	120	140	144			
24F/120Y OR 144Y	AVANT CABINE / FWD CABIN	24	3	7	10	13	17	20	23	-			
	CENTRE CABINE / MID CABIN	66	9	18	28	37	46	55	64	-			
	ARRIERES CABINE / AFT CABIN	54	8	15	22	30	37	45	53	-			

REMARQUE
POUR OBTENIR LE NOMBRE TOTAL DE PASSAGERS A PRENDRE EN COMPTE EN ZONE AVANT CABINE, AJOUTER LE NOMBRE DE PASSAGERS BUSINESS CLASSE A CELUI DES PASSAGERS ECONOMIQUE DE LA ZONE AVANT CABINE.

REMARK
TO OBTAIN THE TOTAL NUMBER OF PAX IN THE FORWARD CABIN, ADD THE NUMBER OF BUSINESS CLASS PASSENGERS TO THE ECONOMY CLASS PASSENGER IN THE FORWARD CABIN.

MAXIMUM CERTIFIED LIMITATION
Consulter impérativement la dernière note de service en vigueur pour les limitations structurelles par immatriculation.
Consult impératively the last service note for the structural limitations by registration.

$$\text{INDEX} = \text{WEIGHT (KG)} \times \text{ARM (IN)} \div 659.21$$

350000

For Dry Operating Index, ADD + 45 Units

2- INDEX VARIATION DUE TO FLIGHT CREW/CABIN CREW
INFLUENCE INDEX POUR PNT/PNC

ELEMENT	EMPLACEMENT / LOCATION	VARIATION D'INDEX / INDEX VARIATION
2	Siège CDB et Pilote / PILOT and 1ST OFFICERS SEAT	- 2.3
1	Siège 1er OBSERVATEUR / 1st OBSERVER'S SEAT	- 1.4
1	Siège 2ème OBSERVATEUR / 2nd OBSERVER'S SEAT	- 1.4
1	Banquette Av. / FWD ATTENDANT	- 1.0
2	Banquette Av. / FWD ATTENDANT	- 2.0
3	Banquette Av. / FWD ATTENDANT	- 3.0
4	Banquette Av. / FWD ATTENDANT	- 4.0
1	Banquette Ar. / AFT ATTENDANT	+ 1.0
2	Banquette Ar. / AFT ATTENDANT	+ 2.0

