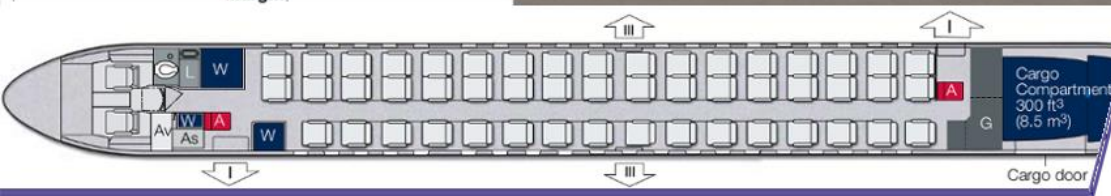
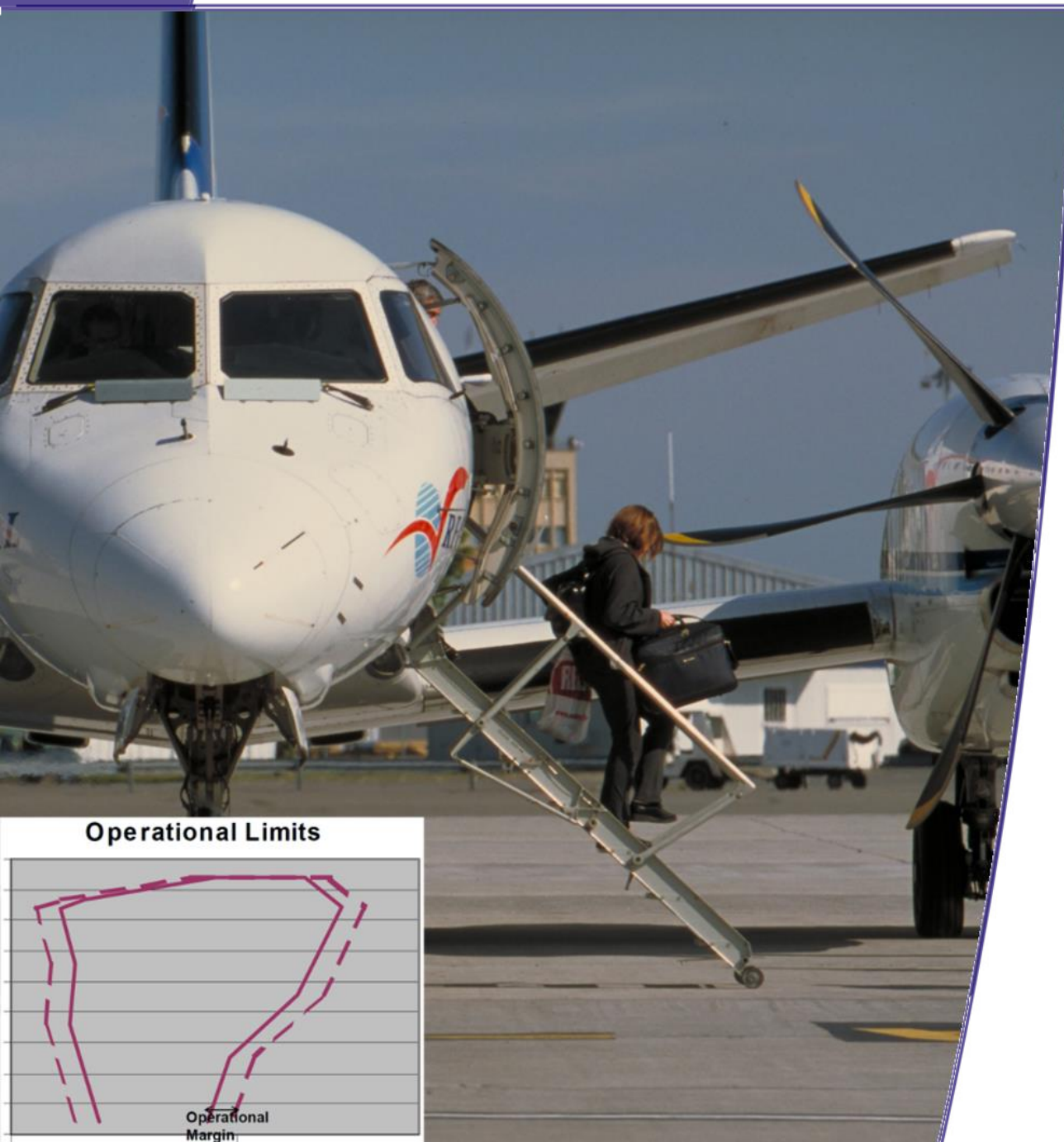


# ENVELOPPE OPERATIONNELLE DE CENTRAGE AVION

## Guide


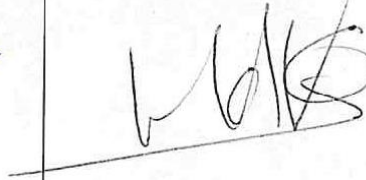



## GUIDE D'ELABORATION D'UNE ENVELOPPE OPERATIONNELLE DE CENTRAGE AVION

### Liste des modifications

Edition et version	Date	Modifications
Ed1 Version 0	03/03/2016	Création
Ed1 Version 1	23/03/2016	Correction d'une coquille dans le préambule sur le nom du constructeur qui fournit directement l'enveloppe opérationnelle : à savoir ATR au lieu d'Embraer et ajout d'une précision. Mise à jour de la forme.
Ed2 Version 0	02/12/2019	Mise à jour de la référence réglementaire CAT.POL.MAB.100 (a) Précisions sur l'écart lié à la répartition des bagages et du fret en soute. Mise à jour de la forme et de l'organisation du guide. Mise à jour du lien vers l'Info Sécurité « Passagers Hors normes »

### Approbation du document

	Rédaction	Vérification	Approbation
Nom	Y. Colineaux 	Q. Henry-de-Villeneuve 	T. Vezin 
Fonction	DSAC/NO/OA	Adjoint chef de pôle DSAC/NO/OA	Adjoint directeur technique DSAC/NO
Date	02/12/2019		

## 1. PREAMBULE

Le règlement AIROPS spécifie que la documentation de masse et centrage permet au commandant de bord de faire en sorte que la charge et sa répartition sont telles que les limites de masse et centrage de l'aéronef ne sont pas dépassées.

Ces limites de masse et centrage sont certifiées et disponibles dans le manuel de vol.

Les procédures de chargement des avions font appel à un certain nombre d'approximations dans le calcul des masses et du centrage, ceci afin de permettre un calcul simple et compatible avec les contraintes opérationnelles. Par exemple, les masses des passagers sont dans la plupart des cas forfaitaires, les cabines sont divisées en zones, etc. D'autre part, en vol, le mouvement de l'équipage de cabine et des passagers peut causer des écarts de centrage. Toutes ces approximations et déviations génèrent des incertitudes qui peuvent amener à ce que le centrage réel de l'aéronef se trouve en dehors des limites certifiées, dans le cas où le centrage calculé est proche des limites du domaine certifié.

Afin de s'assurer que les limites certifiées sont respectées, l'exploitant doit créer et documenter une enveloppe opérationnelle de centrage, comme décrit dans l'AMC1 CAT.POL.MAB.100(a). Cette enveloppe opérationnelle est constituée par des marges appliquées à l'enveloppe certifiée, avec pour objectif de couvrir les incertitudes et approximations utilisées dans les calculs de masses et de centrage, tout en permettant un calcul simple et compatible avec les contraintes opérationnelles. Elles sont définies pour couvrir des erreurs/incertitudes dont les procédures opérationnelles de la compagnie ne permettraient pas de s'affranchir.

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, mais il n'est pas obligatoire d'avoir recours à la méthode du constructeur.

Ce guide s'adresse plus particulièrement aux avions de petites à moyenne capacité pour lesquels il n'existe pas de méthodes du constructeur pour évaluer les marges. En effet, Airbus et Boeing ont documenté l'ensemble des informations nécessaires à l'élaboration des marges de centrage. ATR fournit quant à lui directement l'enveloppe opérationnelle pour ses avions. Néanmoins, dans ce dernier cas, les hypothèses prises en compte par le constructeur dans le dimensionnement des marges doivent être connues par la compagnie.

## Glossaire

- AFM : *Aircraft Flight Manual* - Manuel de vol certifié
- DCS : *Departure Control System* - Système de réservation et de contrôle des départs
- DOW : *Dry Operation Weight* - Masse de base ou masse à vide en ordre d'exploitation
- MAC : *Mean Aerodynamic Chord* - Corde Aérodynamique Moyenne
- MLW : *Maximum landing weight* - Masse maximale à l'atterrissage
- ULD : *Unit Load Device* - Unité de chargement (conteneur ou palette)
- WBM : *Weight and Balance Manual* - Manuel de masses et centrages avion

## 2. REFERENCES REGLEMENTAIRES

Règlement (UE) n°965/2012 modifié de la commission du 5 octobre 2012 (AIR-OPS), avec les AMC et GM associés dont :

### CAT – SOUS-PARTIE C – PERFORMANCES ET LIMITATIONS OPÉRATIONNELLES DES AÉRONEFS

CAT.POL.MAB SECTION 1 Masse et centrage

AMC1 CAT.POL.MAB 100 (a)

## 3. EXAMEN DE LA JUSTIFICATION DES MARGES OPERATIONNELLES

Lors de l'établissement des domaines de centrage, l'exploitant doit s'assurer qu'il respecte ces limites en établissant des marges opérationnelles. Ces marges ne font pas l'objet d'une approbation mais peuvent être vérifiées par la DSAC en charge de la surveillance du CTA de l'exploitant.

La vérification de la DSAC pourra être faite lors de la création du manuel d'exploitation, lors de mise en liste de flotte d'un nouvel avion, lors d'un audit ou d'une inspection préparation des vols de la DSAC ou suite à un événement en exploitation. L'exploitant pourra être amené alors à justifier auprès de la DSAC le calcul de ses marges opérationnelles en fournissant un dossier.

## 4. PRINCIPES GENERAUX

Dans l'élaboration de ses calculs et le développement des procédures associées, il convient de prendre en compte les éléments suivants :

- Les documents fournis par le constructeur : AFM et/ou WBM le cas échéant.
- Les procédures opérationnelles figurant déjà dans le Manuel d'exploitation (incluant le Manuel Sécurité Sauvetage) et la méthode d'affectation des sièges par le DCS utilisé par l'opérateur ou, s'il n'y a pas de DCS, la procédure d'attribution des sièges.

Une marge est appliquée aux limites certifiées avant pour prendre en compte les erreurs conduisant à un déplacement du centrage vers l'avant, et aux limites certifiées arrière pour prendre en compte les erreurs conduisant à un déplacement du centrage vers l'arrière. La marge appliquée à la limite avant peut être différente de la marge appliquée à la limite arrière.

En général, le dimensionnement des marges est effectué en calculant les moments dus aux variations de centrage et/ou de masse. Ces moments sont homogènes à des valeurs d'index.

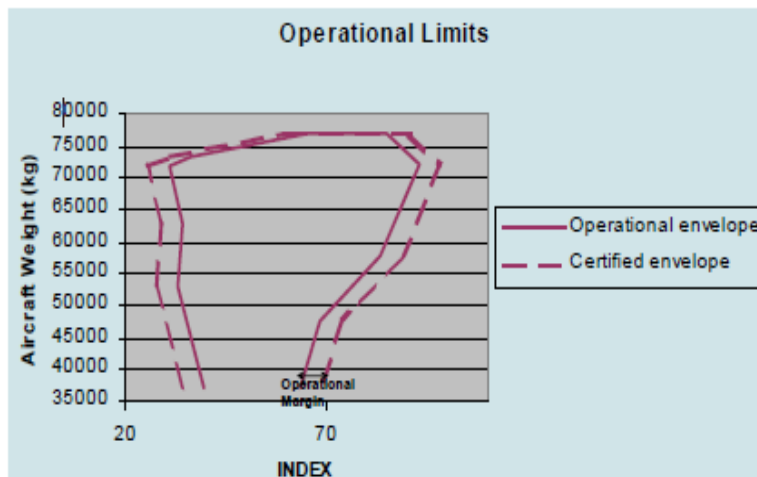


Figure 1

Il est à noter que les marges opérationnelles à appliquer peuvent être différentes en fonction de la phase du vol (décollage - en vol - atterrissage).

## 5. COMPOSITION DU DOSSIER

Le dossier comprendra, pour chacun des éléments (écarts ou incertitudes) listés au paragraphe 6, la valeur de la marge (avant et/ou arrière) prise par l'opérateur, étayée des éléments de justification et de la documentation associée.

L'exploitant doit être en mesure de présenter, pour chacun de ces éléments, les hypothèses initiales, les éventuelles procédures opérationnelles associées (notamment dans le cas où l'exploitant s'affranchit d'une marge en mettant en place une procédure opérationnelle) et les justifications théoriques en faisant appel à des calculs de moments pertinents.

## 6. MOYENS DE CONFORMITE

Cette matrice de conformité a pour but d'aider l'exploitant à démontrer sa conformité réglementaire pour l'élaboration d'une enveloppe opérationnelle de centrage avion.

Matrice de conformité			
Référence réglementaire <i>AMC1 CAT.POL.MAB. 100(a)</i>	Titre	Moyen de conformité	§
<b>Au sol</b>			
§ (a)(1)	Ecarts de centrage réel, à vide ou de base : incertitude sur la pesée, non prise en compte de certaines modifications et/ou différences d'équipements		7.2.1
§ (a)(2)	Ecarts de répartition du carburant dans les réservoirs / répartition prévue : utilisation des vecteurs de remplissage carburant et prise en compte de toute la plage des densités carburants.		7.2.2
§ (a)(3)	Ecarts de répartition des bagages et du fret dans les différents compartiments par rapport à la répartition de la charge prévue et inexactitudes d'évaluation de la masse réelle des bagages et du fret.		7.2.3
§ (a)(4) et (b)(1)	Ecarts de position réelle des passagers par rapport à la disposition prévue au moment de la préparation du devis de masse et centrage.		7.2.4
§ (a)(4) et (a)(8)	Inexactitudes d'évaluation de la masse réelle des passagers		7.2.4
§ (a)(5)	Ecarts de centrage réel de la charge de fret et de passagers dans chaque compartiment de fret ou section de cabine par rapport à une position médiane du centre de gravité		7.2.3 7.2.4
<b>En vol</b>			
§ (a)(6)	Ecarts de centrage causés par la position des trains et des volets		7.3.1
§ (a)(7) et (b)(2)	Ecarts de centrage causés par les mouvements de l'équipage de cabine, de l'équipement de l'office de bord (prise en compte du service), et des passagers (fonction du nombre de toilettes)		7.3.2
§ (a)(6) et § (b)(3)	Ecarts de centrage liés à la procédure d'utilisation du carburant		7.3.3



## 7. ELEMENTS COMPLEMENTAIRES OU EXPLICATIFS

### 7.1. Bref rappel de la théorie des moments

Le centrage d'un avion désigne la position de son centre de gravité, qui peut être exprimée en bras de levier ou en pourcentage de corde aérodynamique moyenne (MAC). Elle correspond au moment du poids de l'avion divisé par la masse de l'avion. Ce moment est égal à la somme du moment de l'avion dans sa configuration de base (DOW) et des moments des éléments à bord (passagers, carburant, fret, ...). Par commodité de manipulation, les moments peuvent être traduits en valeurs d'index.

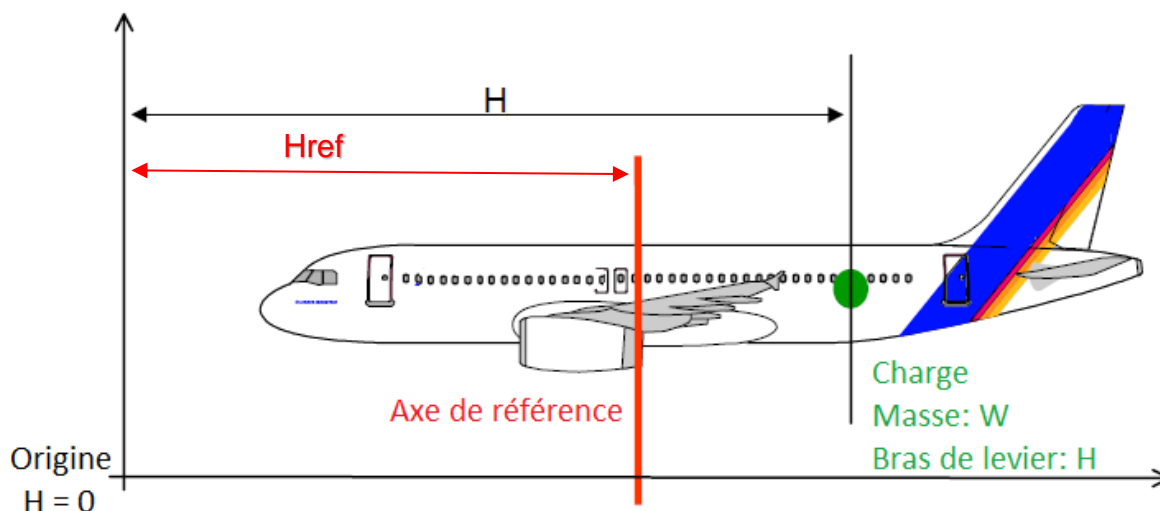


Figure 1

$$\text{Moment} = \text{Masse} \times \text{Bras de levier}$$

On notera dans ce guide :

- W : Masse de la charge considérée
- H : Bras de levier de la charge considérée
- E : variation du moment
- $H_{\text{réf}}$  : distance de l'origine (H=0) à l'axe de référence

En général, le dimensionnement des marges est effectué en calculant les variations de moments dues aux variations de centrage et/ou de masse entre une situation théorique (issue d'un calcul qui repose sur des hypothèses ou approximations) et une situation réelle (masse et centrage réels de l'aéronef).

$$\text{Soit : Moment} = W \times (H - H_{\text{réf}}) \quad \text{et} \quad E = \text{Moment}_{\text{réel}} - \text{Moment}_{\text{théorique}}$$

## 7.2. Au sol

### 7.2.1. Écart de centrage réel, à vide ou de base

Cet écart concerne les incertitudes sur le centrage de base réel de l'avion. Ces incertitudes peuvent être dues à :

- a) L'incertitude inhérente à la précision du matériel utilisé pour la pesée,
- b) Des modifications ou changements d'équipement de l'avion après la dernière pesée, non prises en compte dans la masse et le centrage avion.

Conformément à l'AMC1 CAT.POL.MAB.100(b), l'influence de ces changements doit être tracée, et la masse et le centrage de l'avion doivent être mis à jour par calcul ou par pesée lorsque le cumul des influences atteint :

- 0,5% de MLW pour la masse de base, ou,
- 0,5% de MAC pour le centrage de base .

- c) L'utilisation d'une masse/d'un centrage de flotte et non par avion,

Conformément à l'AMC2 CAT.POL.MAB.100(b), dans le cas de l'utilisation de masse/centrage de flotte, l'exploitant doit s'assurer que :

- la masse de base d'un appareil donné ne doit pas différer de plus de 0.5 % du MLW de l'appareil, et que,
- le centrage de base d'un appareil donné ne doit pas différer de plus de 0,5% de la MAC de l'appareil.

Par ailleurs, l'exploitant doit s'assurer que ces marges sont toujours respectées lors d'une modification, d'un changement d'équipement de l'avion (point b)), ou d'une pesée.

On peut donc considérer que les incertitudes sur le centrage de base ne dépasseront pas la variation de moment suivante :

$$E = 0,5\% \times MAC \times (DOW + \text{marge due à l'évolution de la masse de l'avion entre deux pesées successives et aux imprécisions de mesure})$$

### 7.2.2. Écart de répartition de carburant dans les réservoirs par rapport à la répartition prévue

Cet écart concerne les incertitudes sur la masse réelle du carburant dans les différents réservoirs, qui peuvent être dues à :

- l'incertitude de mesure de la quantité de carburant,
- l'écart entre la densité réelle et théorique du carburant.

Ces erreurs peuvent être négligées dans le cas de petits avions avec des réservoirs de carburant uniquement situés dans une aile à faible flèche, donc avec une faible influence sur le centrage.

### 7.2.3. Écart de répartition des bagages et du fret dans les différents compartiments par rapport à la répartition prévue et inexactitude d'évaluation de la masse réelle des bagages et du fret

L'erreur peut porter sur la localisation et sur la masse de la charge.

#### a) Sur la localisation de la charge

La variation de moment est :

$$E = W_{\text{charge}} \times (H_{\text{réel}} - H_{\text{théorique}})$$

Dans le cas où les bagages ou le fret sont chargés sur/dans des unités de chargement (ULD) :

- Position réelle de l'unité de chargement (ULD) : une marge est à prendre dans le cas où la position du fret est enregistrée par zone et non par position exacte (avec un bras de levier enregistré par position). Diviser la zone cargo en de multiples zones ou compartiment permet de réduire les marges opérationnelles et augmenter la plage de chargement possible.
- Centrage de l'unité de chargement (ULD) : l'opérateur ne peut pas connaître le centrage réel de l'ULD/du conteneur, qui dépend de la répartition des masses à l'intérieur de l'ULD. Pour pallier l'erreur dans le calcul du centrage qui découle de cette non-connaissance du centrage réel, Airbus préconise par exemple de prendre une marge correspondant à une variation de centrage de +/-10% par rapport au centre de gravité théorique de l'ULD. En résumé, si le logiciel de calcul de masse et centrage de l'opérateur utilise la position et la masse réels de chaque ULD, l'enveloppe opérationnelle doit tout de même prendre en compte cette marge.

#### b) Sur l'évaluation de la masse de la charge

Pour obtenir l'impact maximal en termes de moment, l'écart est déterminé par:

$$E = (W_{\text{réelle}} - W_{\text{théorique}}) \times (H_{\text{charge}} - H_{\text{limite}}) = \Delta W \times (H_{\text{charge}} - H_{\text{limite}})$$

Avec :  $H_{\text{limite}}$  : Bras de levier de la limite certifiée

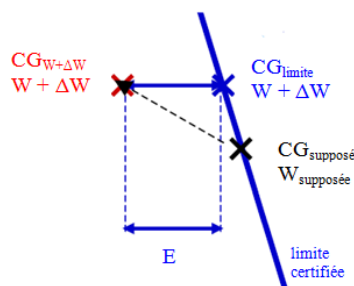


Figure 2 - Incertitude de masse positive (+ΔW) placée en amont du centre de gravité



Note : Il est nécessaire de se placer au niveau de la limite certifiée afin d'évaluer l'impact maximal de l'incertitude.

L'opérateur peut s'affranchir de l'incertitude sur l'évaluation de la masse de la charge (7.2.3.b) si le calcul de masse et centrage prend, pour chaque position de la soute, et chaque soute, la masse réelle pesée de l'ULD ou du conteneur (il est à noter que certains logiciels prennent une masse moyenne sur la masse totale des bagages) qui y est positionné.

#### c) Cas des bagages cabines placés en soute à l'embarquement

Les bagages passagers dont la masse est incluse dans le forfait passager peuvent être retirés avant l'embarquement pour être placés en soute, ce qui peut avoir une influence significative selon l'emplacement de la soute. Cette influence peut soit faire l'objet d'une correction de l'état de charge, soit être prise en compte dans les marges opérationnelles.

### **7.2.4. Écart de répartition des passagers par rapport à la répartition prévue et inexactitude d'évaluation de la masse réelle des passagers**

Cet écart concerne les incertitudes sur le centrage réel des passagers, qui peuvent notamment être dues à :

- la répartition réelle des passagers différente de celle utilisée pour le calcul du centrage,
- l'utilisation de valeurs de centrage moyennes par zone de sièges et non par rangée,
- l'utilisation de masses passagers forfaitaires.

#### a) Répartition réelle des passagers différente de celle utilisée pour le calcul du centrage

Cette incertitude est due à l'écart entre le positionnement des passagers pris en compte pour le calcul du centrage et le positionnement réel des passagers.

Dans le cas du free seating (liberté des passagers de choisir un siège quelconque lorsqu'ils pénètrent dans l'avion), des erreurs importantes affectant le centrage peuvent se produire. En effet, bien que dans la plupart des cas les passagers se répartissent de manière équilibrée longitudinalement, il peut y avoir un risque de répartition extrême à l'avant ou à l'arrière, ce qui engendre des erreurs graves et inacceptables de centrage, en supposant que le calcul de centrage soit fait sur la base d'une répartition équilibrée. L'opérateur devra proposer une évaluation raisonnable basée sur un cas dimensionnant qui reflète les situations qui peuvent être rencontrées en exploitation.

Lorsqu'un siège est attribué à chaque passager par le DCS, et que cette répartition est utilisée pour le calcul du centrage, des procédures opérationnelles de vérification par l'équipage de la répartition des passagers peuvent être définies pour garantir la cohérence de celle-ci avec le DCS.

La variation de moment est :

$$E = W_{\text{passager}} \times (H_{\text{réel}} - H_{\text{théorique}})$$

#### b) Erreur sur le centrage réel d'une zone de sièges

Les passagers sont la plupart du temps répartis au sein de la cabine dans des zones (généralement entre 3 et 5 sections, par exemple OA/OB/OC/OD), caractérisées par un bras de levier moyen. Le remplissage des zones passager dépend de la politique d'attribution des sièges et du paramétrage du DCS le cas échéant.

Le DCS pourra adopter une logique de répartition uniforme au sein d'une même zone. Cependant, la zone peut ne pas être complètement remplie et le centre de gravité réel peut ne pas coïncider avec le centre de gravité théorique (centroïde).

Si l'exploitant souhaite s'affranchir d'optimisations trop complexes, il pourra par exemple considérer comme cas dimensionnant les cas suivants :

- Pour les gros avions, un remplissage des zones à 50% sur une seule moitié de la zone.
- Pour les plus petits avions (9 pax ou moins), un remplissage de la cabine à 50% sur une seule moitié de la cabine. Ce cas de répartition extrême peut avoir des conséquences très importantes sur les petits avions.

La variation de moment est :

$$E = W_{\text{passager}} \times (H_{\text{réel}} - H_{\text{supposé}}) \quad \text{avec} \quad H_{\text{supposé}} = \text{Bras de levier moyen de la zone}$$

#### c) Erreur sur l'évaluation de la masse des passagers

Cet écart est à prendre en compte lorsque des masses forfaitaires passagers sont utilisées. Il aura surtout un impact dans le cas des petits avions où statistiquement, compte tenu du faible nombre de passagers par zone, la masse d'un passager a le plus de chance d'être éloignée de la masse forfaitaire. Il correspond aux incertitudes sur la masse des passagers qui ne sont pas détectés comme "Hors norme" (cas traité au point d)), mais dont la masse est différente de la masse forfaitaire.

L'impact maximal en termes de moment est déterminé par :

$$E = (W_{\text{réelle}} - W_{\text{supposée}}) \times (H_{\text{charge}} - H_{\text{limite}}) \quad \text{avec} \quad H_{\text{limite}} = \text{Bras de levier de la limite certifiée}$$

Cette erreur peut être évaluée :

- Avec une méthode mathématique qui peut faire appel à un écart type de 15kg.
- Empiriquement, l'exploitant pourra envisager un ou plusieurs cas dimensionnant(s). Par exemple, dans le cas d'un appareil déjà centré avant sans les passagers, un ou plusieurs passagers atypiques non détectés aux extrémités de la cabine :
  - passager en surpoids à l'avant,
  - adolescent de plus de 12 ans à l'arrière comptabilisé comme un adulte.

#### d) Cas particulier des passagers hors norme

Particulièrement pour les petits avions, afin de minimiser ces erreurs, l'exploitant devra veiller à identifier les passagers hors norme et prendre les mesures appropriées conformément au GM1 CAT.POL.MAB.100 (e).

*Pour plus d'information : Info sécurité DGAC avril 2012 « Prise en compte des passagers "hors normes" dans les calculs de masse et centrage » ([https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/IS2012\\_04\\_passagers\\_hors\\_normes.pdf](https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/IS2012_04_passagers_hors_normes.pdf)).*

### 7.3. En vol

#### 7.3.1. Écart de centrage causé par la position des trains et des volets

Cet écart correspond à la variation du centrage au cours du vol, causée par le mouvement des trains et des volets.

Pour les gros avions, ces données sont en général disponibles dans le WBM. Pour les avions ne disposant pas de ces informations, l'impact peut être négligé lorsqu'il s'agit de petits avions.

#### 7.3.2. Écarts de centrage causés par les mouvements de l'équipage de cabine, de l'équipement de l'office de bord (prise en compte du service), et des passagers (fonction du nombre de toilettes)

Au cours du vol, le mouvement de l'équipage de cabine et des passagers peut causer des écarts de centrage. L'estimation de ces mouvements en vol dépend du type d'exploitation de la compagnie (notamment de la présence de personnel de cabine), de la disposition de la cabine, du type d'avion...

L'objectif est de déterminer l'impact réaliste que peuvent avoir ces mouvements sur le centrage durant le vol.

Pour cela, l'exploitant devra identifier les différentes situations en vol au cours desquelles de tels mouvements peuvent avoir lieu : le service des repas, les passagers qui se déplacent pour se rendre aux toilettes, la vente de Duty Free... en prenant en compte le fait que certains de ces mouvements peuvent se produire simultanément.

L'exploitant devra ensuite proposer une évaluation raisonnable basée sur un ou plusieurs cas dimensionnant(s) qui reflète(nt) les situations rencontrées en exploitation.

La variation de moment est :

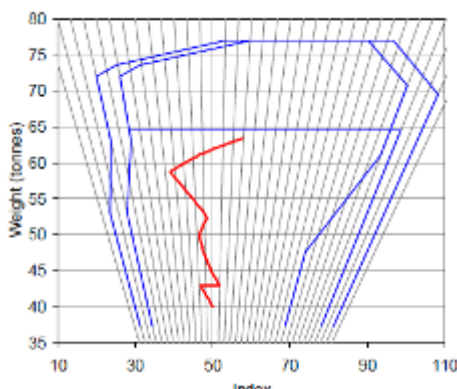
$$E = W_{\text{membre d'équipage de cabine/passager}} \times (H_{\text{réel}} - H_{\text{théorique}})$$

Afin de simplifier ces calculs ou de s'en affranchir, l'exploitant pourra définir des procédures opérationnelles limitant le nombre de mouvements ou interdisant le déplacement des passagers en vol. Dans ce cas, l'exploitant fournira ces procédures dans le dossier de justification des marges opérationnelles.

Note : Le paragraphe (b)(2) de l'AMC1 CAT.POL.MAB.100(a) évoque les variations de centrage significatives qui peuvent être causées par les mouvements de l'équipage. L'exploitant devrait en conséquence considérer également l'influence du déplacement d'un pilote vers la cabine, en particulier dans le cas de petits avions à bord desquels il n'y a pas de membre d'équipage de cabine (sauf lorsque l'équipage n'est constitué que d'un seul pilote), ou justifier qu'il n'est pas prévu que l'équipage se déplace.

### 7.3.3. Écart de centrage lié à la procédure d'utilisation du carburant

Le vecteur carburant (variation de masse et centrage liée à la consommation du carburant au cours du vol) fourni par le constructeur doit être pris en compte. Il ne sert pas à établir des marges opérationnelles mais à s'assurer que le centrage restera dans les domaines T/O, INFLIGHT, LDG lors de la consommation du carburant au cours du vol.



**Figure 3**

L'opérateur peut utiliser une de ces deux méthodes :

- Tracer le vecteur carburant à chaque préparation des vols avec le carburant au décollage jusqu'à ce que la totalité du carburant soit consommée.
- Définir un domaine sans carburant (zero fuel) dont le principe général consiste à faire « glisser » le vecteur carburant le long des limites opérationnelles. Cette méthode est assez compliquée et s'adresse à des exploitants ayant un bureau d'étude ou qui font appel au constructeur pour développer les domaines de masse et centrage.

#### 7.4. Bilan des erreurs de centrage

La marge opérationnelle totale appliquée est la somme des variations de moments dues aux écarts et incertitudes vues dans ce guide.

$$M_{\text{argeavant}} = \sum E_{\text{avant}} \quad M_{\text{argearrière}} = \sum E_{\text{arrière}}$$

Comme indiqué plus haut, les marges opérationnelles appliquées peuvent être différentes en fonction de la phase du vol (décollage, en vol, atterrissage).

L'exploitant peut optimiser les calculs en proposant des sommes quadratiques pour prendre en compte la dépendance des différentes erreurs entre elles. Ainsi, il est possible d'utiliser la méthode suivante :

$$M_{\text{arge}} = \sum E_{\text{systematiques}} + \sqrt{\sum E_{\text{non systematiques}}^2}$$

Lorsque les effets des écarts sont **systematiques** (i.e. s'ils ont lieu à chaque vol, comme par exemple le déplacement des volets ou du train) alors ils vont se cumuler, et leur effet total sera :

$$E_1 + E_2 + \dots + E_n$$

Lorsque les effets des écarts sont **non systematiques** (i.e. s'ils peuvent avoir ou non lieu au cours d'un vol, comme par exemple l'écart sur la masse et la position des passagers) alors il peuvent se compenser, et leur effet total sera :

$$\sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2}$$

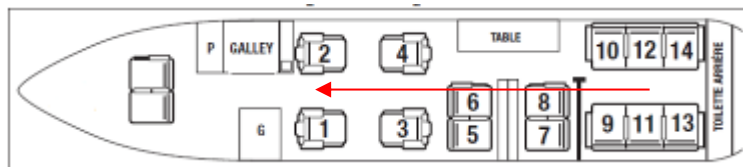
#### 7.5. Méthode graphique

Il peut être plus aisé dans certains cas de passer par une méthode graphique pour déterminer les variations d'index dues aux différentes erreurs ou approximations :

- Différents scénarios devront être proposés suivant des hypothèses réalistes qui peuvent être rencontrées en exploitation.
- La quantification de ces erreurs pourra donc être effectuée à l'aide des feuilles de centrage manuel.

Les 2 exemples traités ci-dessous évaluent des erreurs impactant le centrage avant.

### Exemple 1 : Déplacement d'un passager de la zone siège 9-14 vers la zone siège 1-2



La variation d'index due au déplacement du passager de l'arrière vers l'avant est égale à la somme de la variation due au retrait du passager à l'arrière et de la variation due à l'ajout du passager à l'avant.

Cette variation totale est ensuite reportée sur l'enveloppe de centrage certifiée. Dans la mesure où le passager est supposé se déplacer uniquement en vol, la marge est appliquée au niveau de la limite en vol certifiée.

Ici, la marge due au seul déplacement d'un passager en vol est d'environ 10 point d'index. Si cette marge est jugée trop limitative, l'exploitant pourra choisir de mettre en place des procédures interdisant le déplacement de passagers en vol.

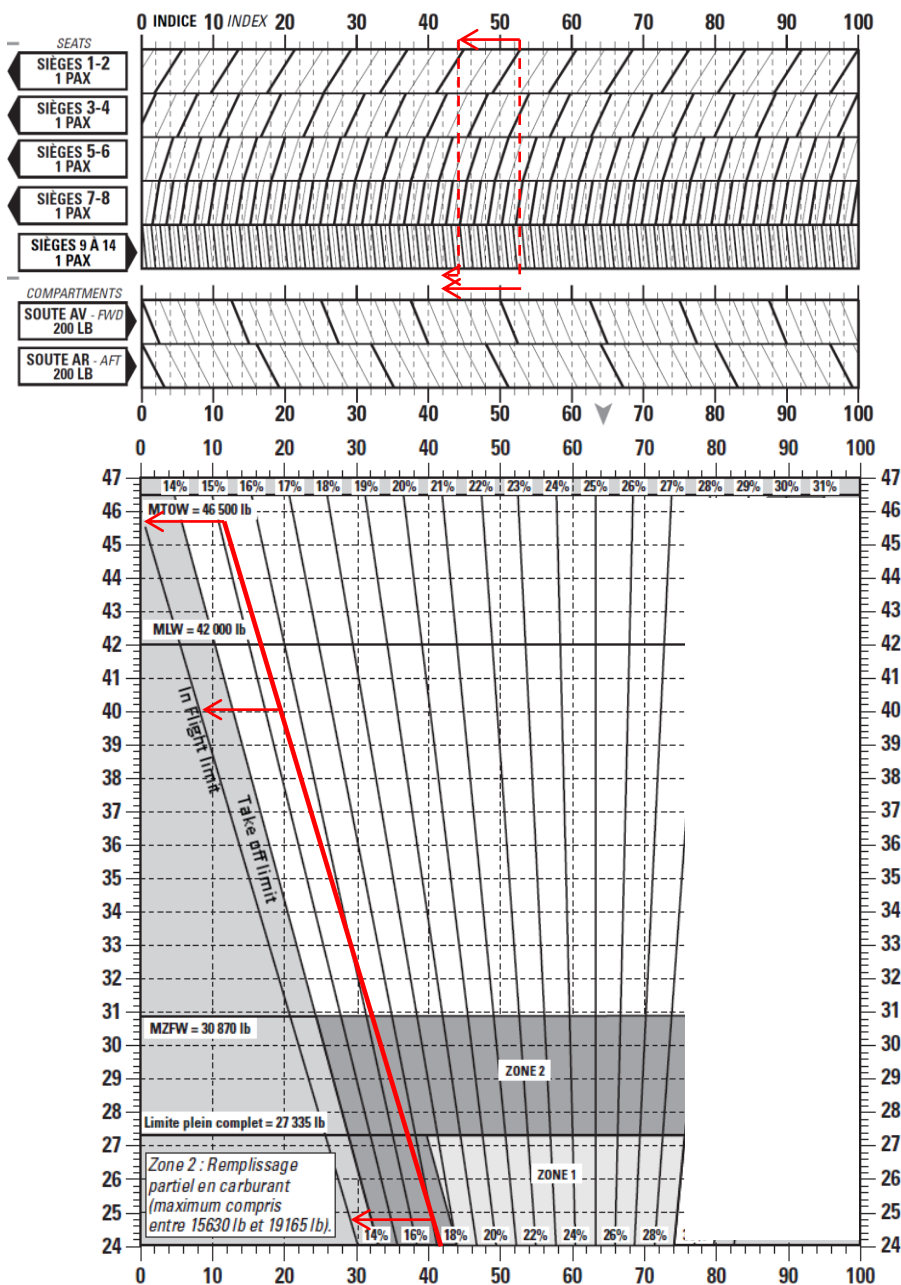


Figure 4

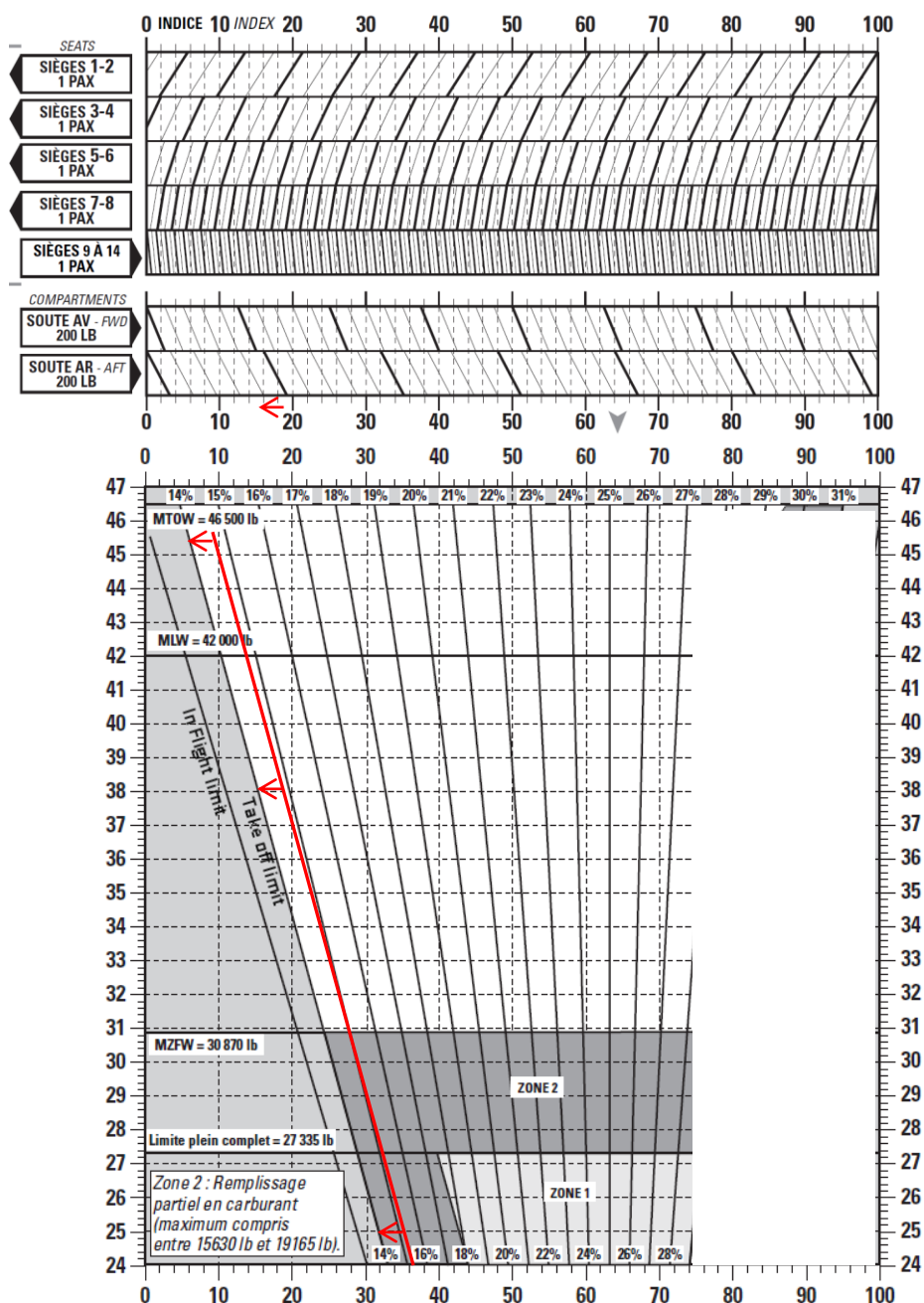


**Exemple 2 : Surestimation de 40lbs de la masse réelle des bagages ou du fret en soute arrière de l'appareil conduisant à une sous-estimation du centrage avant**

La variation d'index due à la surestimation est déterminée en retirant 40 lbs au niveau de la soute arrière.

Cette variation est ensuite reportée sur l'enveloppe de centrage certifiée. Dans la mesure où cette surestimation a lieu lors du chargement au sol, la marge est à appliquer à la limite de centrage décollage.

Dans le cas présent, la variation de masse à reporter en ordonnée est négligeable, seule une variation de centrage est appliquée



**Figure 5**

**DSAC/NO**  
50 rue Henry Farman  
75720 Paris Cedex 15

Tél. : 01 58 09 44 80  
Fax : 01 58 09 45 52

© Véronique PAUL /  
Photothèque STAC

