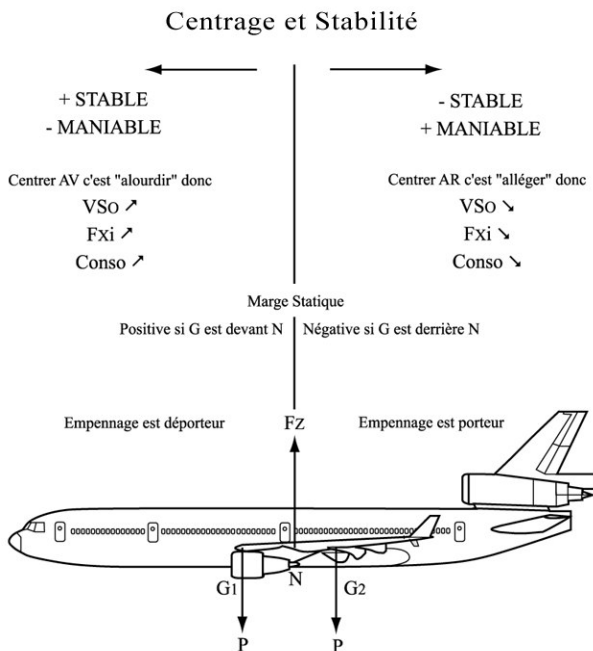


CENTRAGE ET STABILITÉ D'UN AVION



La position du centre de gravité G par rapport à la corde de référence AB de la voilure (MAC = Mean Aerodynamic Chord) caractérise la valeur du centrage de l'avion.

$$100 \frac{AG}{AB} = \text{centrage en \%}$$

## MASSE AVION

*Un certain nombre de masses sont associées à un avion de transport public et apparaissent dans le calcul des limitations et de la charge offerte. Ces masses sont définies par les règlements.*

### **Masses non structurales :**

***Masse à vide** obtenue sans tenir compte de :*

- *La totalité du carburant et des autres fluides*
- *L'armement commercial (sièges, rideaux, moquettes, etc)*
- *Le commissariat (nourriture, boissons, etc)*
- *Le matériel de sécurité*
- *Le lot de bord (pièces de rechange)*
- *Les unités de chargement vides*
- *L'équipage et ses bagages*
- *Les passagers et leurs bagages ainsi que le fret.*

***Masse à vide équipée**, c'est la masse à vide à laquelle s'ajoute l'armement minimal pour tout vol :*

- *La quantité normale d'huile*
- *L'armement commercial (sièges, rideaux, moquettes, etc)*
- *Le matériel de sécurité et de sauvetage permanent*
- *Le lot de bord permanent*
- *Les unités de chargement vides*

***Masse de base ou masse à vide en ordre d'exploitation (DOW - Dry Operating Weight)**, c'est la masse à vide équipée à laquelle s'ajoute les éléments nécessaires pour le vol :*

- *Le commissariat et équipements amovibles du service passagers*
- *Le matériel de sécurité et de sauvetage*
- *Le lot de bord*
- *L'équipage et ses bagages ainsi que la documentation.*

## Masses structurales :

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

**Masse maximale au roulage (MTW - Maximum Taxi Weight) :** C'est la masse maximum à laquelle l'avion peut évoluer au sol.

**Masse maximale sans carburant (MZFV - Maximum Zero Fuel Weight) :** C'est la masse maximale les réservoirs ne contenant pas de carburant.

**Masse maximale au décollage (MTOW - Maximum Take Off Weight) :** C'est la masse maximale au début du roulement au décollage.

**Masse maximale à l'atterrissage (MLW - Maximum Landing Weight) :** C'est la masse maximale autorisée à laquelle l'avion peut atterrir.

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

Outre le respect des masses maximales structurales prescrites dans le cadre de la certification, l'exploitant doit vérifier que pour chaque phase de vol, la masse de l'avion ne dépasse pas les masses maximales découlant de la réglementation opérationnelle (limitations dues aux performances et aux infrastructures).

- **Limitation au décollage :** limitation piste et 2ème segment de la trajectoire de vol.
- **Limitation en croisière :** survol d'obstacles
- **Limitation à l'atterrissage :** limitation piste et pente en cas de remise des gaz.

Le bilan de toutes ces limitation permet de déterminer :

- **Le bilan utile** à retenir pour le décollage
- **La charge offerte (C.O.)** étant entendu que la charge marchande ou charge réellement transportée est au plus égale à la charge offerte.

**Charge marchande ou charge transportée  $\leq$  C.O.  
(Payload ou Total Traffic Load)**

C.O. ne comprend pas la masse de carburant au décollage.

- **La charge utile (Useful load)** comprenant la charge marchande offerte (allowed traffic load), appelée couramment C.O. plus le carburant au lâcher des freins (usable fuel ou take off fuel).

|              |   |                      |   |                              |
|--------------|---|----------------------|---|------------------------------|
| Charge utile | = | Charge offerte       | + | Carb lâcher freins           |
| Useful Load  | = | Allowed Traffic Load | + | Usable fuel ou Take off fuel |

|                |   |                  |   |                     |
|----------------|---|------------------|---|---------------------|
| Charge utile   | = | Limitation utile | - | Masse de base       |
| Charge offerte | = | Limitation utile | - | Masse en opérations |

|                     |   |                    |   |                              |
|---------------------|---|--------------------|---|------------------------------|
| Masse en opérations | = | Masse de base      | + | Carb lâcher freins           |
| Operating Mass      | = | Dry Operation Mass | + | Usable fuel ou Take off fuel |

En résumé :

|                  |   |                    |   |                     |
|------------------|---|--------------------|---|---------------------|
| Limitation utile | - | Masse de base      | = | Charge utile        |
| Charge utile     | - | Carb lâcher freins | = | Charge offerte      |
| Masse de base    | + | Carb lâcher freins | = | Masse en opérations |

Ex :

Limitation utile : 52 400 kg

Carburant lâcher des freins : 10 000 kg

Masse de base : 29 850 kg

**Charge utile** = 52 400 – 29 850 = 22 550 kg

**Charge offerte** = 22 550 – 10 000 = 12 550 kg

**Masse en opération** = 29 850 + 10 000 = 39 850 kg

**Charge offerte** = 52 400 – 39 850 = 12 550 kg

### Coefficient de transport K :

$$K = \frac{\Delta \text{ Masse décollage}}{\Delta \text{ Masse atterrissage}}$$

Ex : Si Masse atterrissage = 5 t et K = 1,5 :

Masse décollage = 1,5 x 5 = 7 t

## LIMITATIONS

*Les paramètres opérationnels sont les paramètres extérieurs qui ont une influence sur les performances.*

### **Au décollage :**

- *Le vent effectif*
- *La température ambiante*
- *L'altitude pression*
- *La pente de la piste*

### **En croisière :**

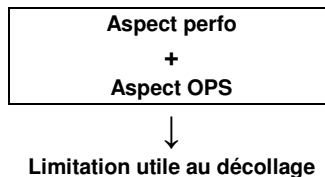
- *La température*
- *Le vent effectif*
- *Conditions météo dangereuses*

### **A l'atterrissage :**

- *Le vent*
- *L'altitude du terrain*
- *La température*
- *L'état de la piste*

*Pour déterminer la limitation utile au décollage (lâcher des freins), il faut intégrer deux aspects :*

- ***L'aspect performance*** de l'avion consignées dans le manuel de vol et reportées par l'exploitant dans le manuel d'exploitation. Ces performances sont la référence authentifiée par la délivrance du CDN.
- ***L'aspect environnement*** (caractéristiques aérodrome de départ et d'atterrissage, caractéristiques en route).



Un avion doit être exploité conformément à son CDN et aux règlements d'exploitation.

C'est pourquoi il existe deux types de règlement :

- **Les règlement de certification JAR 25 ou FAR 25 pour les avions de grandes taille et JAR 23 ou FAR 23 pour les avions de petite taille.**
- **Les règlements d'exploitation JAR - OPS 1 qui s'imbrique mutuellement dont l'objectif est la sécurité des vols.**

Pour les avions certifiés JAR 25 / FAR 25, toutes les performances de décollage sont déterminées **N-1 moteurs**.

Ex :

*Limitation utile : la plus faible de toutes.*

|                     | Masse max structure décollage. (MTOW) | Masse max structure sans carb. (MZFW) | Masse Max atterrissage. (MLW) |
|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Carb. Lâcher freins | 46 000 kg                             | 35 500 kg                             | 43 800 kg                     |
| Délestage           |                                       | 7 000 kg                              | 5 000 kg                      |
|                     | 46 000 kg                             | <b>42 500 kg</b>                      | 48 800 kg                     |

*Limitation utile = 42 500 kg (limitation MZFW)*

Si Masse de base (DOW) = 26 000 kg

Charge utile :

$$\begin{aligned} &= \text{Limitation utile} - \text{Masse de base} : (42\,500 - 26\,000) \\ &= 16\,500 \text{ kg} \end{aligned}$$

Charge marchande offerte :

$$\begin{aligned} &= \text{charge utile} - \text{Carburant} : (16\,500 - 7\,000) \\ &= 9\,500 \text{ kg} \end{aligned}$$

Je peux augmenter la quantité de carburant pour décoller à 46 000 kg mais je ne peux augmenter la charge marchande au delà de 9 500 kg car je ne respecterais plus la limitation MZFW, donc le CDN.

En résumé, à partir de la masse de base, on ne peut pas charger un avion dans le fuselage au delà du MZFW.

Le tableau des limitations devient :

|                     | Masse max structure<br>décollage.<br>(MTOW) | Masse max structure<br>sans carb.<br>(MZFW) | Masse Max<br>atterrissage.<br>(MLW) |
|---------------------|---|---|-------------------------------------|
| Carb. Lâcher freins | 46 000 kg                                   | 35 500 kg                                   | 43 800 kg                           |
| Délestage           |   | 10 500 kg                                   | 5 000 kg                            |
|                     | <b>46 000 kg</b>                            | <b>46 000 kg</b>                            | 48 800 kg                           |

**Limitation utile = 46 000 kg**  
**(Double limitation : MTOW et MZFW)**

Ex :

|   |         |
|---|---------|
| - Masse maxi roulage (MTW) :            | 373,3 t |
| - Masse maxi lâcher des freins (MTOW) : | 371,0 t |
| - Masse maxi atterrissage (MLW) :       | 265,3 t |
| - Masse maxi sans carburant (MZFW) :    | 242,6 t |
| - Masse de base (DOW) :                 | 174,4 t |
| - Délestage prévu :                     | 122,0 t |
| - Réserve à l'arrivée :                 | 15,0 t  |
| - Roulage :                             | 3,5 t   |

**Calcul de la Charge offerte C.O. :**

Pour ne pas commettre d'erreur, il faut ramener toutes les limitations au lâcher des freins.

|                     | MTW          | MTOW  | MZFW       | MLW   |
|---------------------|--------------|-------|------------|-------|
| Carb. Roulage       | 373,3        | 371,9 | 242,6      | 265,3 |
| Carb. Lâcher freins | -3,5         |       |            |       |
| Délestage           |              |       | + (122+15) | + 122 |
|                     | <b>369,8</b> | 371,9 | 379,6      | 387,3 |

**La limitation utile est la masse la plus faible des quatre .**

**Limitation utile = 369,8 tonnes (limitation MTW)**  
**C.O. = 369,8 - (174,4 + 122 + 15) = 58,4 tonnes**

## EFFET D'UNE SURCHARGE

**Vitesses liées au décollage :** Les vitesses liées au décollage ( $V_1$ ,  $V_R$ ,  $V_2$  mini) sont inférieures pour certaines ( $V_R$  et  $V_2$  mini). La marge par rapport au décrochage va diminuer.

**Distances liées au décollage :** Si la masse augmente, l'accélération diminue et les distances augmentent. En cas de panne moteur, on peut ne pas avoir atteint  $V_R$  avant l'extrémité de piste.

**Vitesses et distances liées à l'atterrissage :** La marge par rapport au décrochage est diminuée, la distance d'atterrissage augmente. Risque de sortie de piste.

**Pentes :** Que ce soit au décollage (pente 2ème segment) ou à l'atterrissage (pente à la remise des gaz) les pentes diminuent :

$$\text{Pente \%} = 100 \left( \frac{\text{Poussée}}{\text{Poids}} - \frac{1}{f} \right)$$

Si Poids ↗ pente ↘

**Croisière :** On risque de ne pas accrocher le niveau de vol assigné. Donc problème d'**Air Traffic Control**. Les consommations horaire ( $Ch$ ) et distance ( $Cd$ ) vont augmenter. Risque d'entamer les réserves. L'endurance de l'avion va diminuer.

**Domages structuraux :** Suite à une sortie de piste lors d'une accélération – arrêt ou un atterrissage trop brutal.

**Givrage + surcharge :** Risque de catastrophe en cas de givrage non maîtrisé ajouté à une surcharge.



## MASSE PASSAGERS, ÉQUIPAGE, CARBURANT

*L'exploitant doit calculer la masse des passagers et bagages soit sur la base de la masse réelle constatée par pesée soit sur la base des valeurs forfaitaires sauf lorsque le nombre de sièges passagers est inférieur à 10.*

*Dans ce cas elle peut être établie par une déclaration verbale de chaque passager et en ajoutant une constante tenant compte des bagages à main et des vêtements.*

*Ces constantes ne doivent pas être inférieures à :*

- 4 kg pour les vêtements
- 6 kg pour les bagages à main.

### Valeurs de masse pour les passagers :

*19 sièges ou moins :*

| Sièges passagers | 1 à 5  | 6 à 9 | 10 à 19 |
|------------------|--------|-------|---------|
| Homme            | 104 kg | 96 kg | 92 kg   |
| Femme            | 86 kg  | 78 kg | 74 kg   |
| Enfant           | 35 kg  | 35 kg | 35 kg   |

*20 sièges ou plus :*

| Sièges passagers                 | 20 et plus |       | 30 et plus   |
|----------------------------------|------------|-------|--------------|
|                                  | Homme      | Femme | Tous adultes |
| Tous vols sauf charters vacances | 88 kg      | 70 kg | 84 kg        |
| Charters vacances                | 83 kg      | 69 kg | 76 kg        |
| Enfant                           | 35 kg      | 35 kg | 35 kg        |

*Nota : Un charter vacance est un vol charter uniquement considéré comme un élément d'une formule voyage de vacance.*

### **Valeurs de masse pour les bagages :**

Lorsque le nombre total de sièges passagers est de 20 ou plus, les valeurs forfaitaires de masse sont applicables. Pour les avions de 19 sièges passagers ou moins, la masse réelle de chaque bagage est déterminée par pesée.

| Type de vol                               | Masse forfaitaire<br>bagage |
|---|-----------------------------|
| Domestique                                | 11 kg                       |
| Dans la limite de la région<br>européenne | 13 kg                       |
| Intercontinental                          | 15 kg                       |
| Tout autre                                | 13 kg                       |

Lorsque l'exploitant souhaite recourir à des valeurs autres que les valeurs des tableaux 1, 2 et 3 ci dessus, il doit aviser l'autorité.

### **Masse équipage :**

L'exploitant doit utiliser les valeurs suivantes :

- Les masses réelles comprenant tous les bagages.
- Ou des masses forfaitaires avec bagages à main de :
  - 85 kg pour les PNT
  - 75 kg pour les PNC

### **Masse carburant :**

Elle est fonction du carburant utilisé :

- Essence : 0,71
- Carb. JP1 : 0,79
- Carb. JP4 : 0,76
- Huile : 0,88

## DOCUMENTATION DE MASSE ET CENTRAGE

*L'exploitant doit établir avant chaque vol un devis de masse et centrage spécifiant la charge et sa répartition. Ce document doit être jugé acceptable par le commandant de bord.*

*En cas de changement de dernière minute après établissement du devis, ce changement doit être porté à la connaissance du CdB et inscrit sur le devis.*

## DÉTERMINATION DU CENTRAGE

*Pour déterminer la position du centre de gravité en exploitation, on dispose des données suivantes :*

- *Masse de base de l'avion.*
- *Corrections éventuelles.*
- *Nombre de passagers.*
- *Masse des bagages et du fret.*
- *Masse du carburant embarqué.*

### Calcul du centrage :

*Le principe est toujours le même quelque soit la méthode de calcul utilisée.  
Addition des masses chargées (kg) et des moments correspondants.*

*Il faut chercher L qui est la distance entre le point O de référence et le point d'application de la résultante générale, qui n'est autre que le centre de gravité cherché.*

*Lorsque L est déterminé, AG l'est aussi et l'expression  $\frac{100 \text{ AG}}{\text{AB}}$  donne la **position du centre de gravité en % de la MAC.***

Ex : Masse à vide : 1200 kg ; bras à vide : 3,00 m  
Le centrage à vide est de 25 % de la corde moyenne (longueur : 2,00 m)

Emplacement bras :  
Siège AV : 2,5 m  
Siège AR : 3,5 m  
Soute AR : 4,5 m  
Réservoir carburant : 3,00 m

Poids pilote : 80 kg  
Poids passagers : 80 kg  
Poids carburant : 100 kg

Quel est le centrage ?

Avant chargement :  
 $3 \times 1200 = \Sigma p_i l_i = 3600$

Après chargement :  
 $L \times (1200 + 80 + 80 + 100) = \Sigma p_i l_i + (80 + 80) \times 2,5 + (100) \times 3$   
 $L \times 1460 = 3600 + 400 + 300$

$$L \times 1460 = 4300$$

$$L = 4300 / 1460$$

$L = 2,945 \Rightarrow$  Le centre de gravité a avancé de 5,5 cm

Avant chargement :

$$\frac{AG}{AB} = 25\% \Rightarrow AG = 2\text{ m} \times 25\% = 0,5\text{ m}$$

Après chargement :

$$AG' = 0,5 - 0,055 = 0,445$$

$$D'ou : \frac{AG'}{AB} = \frac{0,445}{2} = 22\%$$

**Centrage après chargement : 22 %**