

Cours de formation Par Michel Schopfer



LE CARBURANT POUR BOEING 737-700



Il s'agit de déterminer l'emport de carburant retenu pour l'étape.

Le calcul du pétrole final pour la mission intègre des variables du jour :

Le trajet réel avec la SID et la STAR en fonction du QFU (orientation de la piste, Q code) au départ et à l'arrivée.

Condition météo (vent effectif, givrage, présence d'orages à éviter avec allongement du trajet possible).

Accessibilité des terrains de destination et de dégagement.

Contraintes opérationnelles liées à l'ATC (Attente à l'arrivée pour la régulation de la circulation aérienne)

La quantité minimale réglementaire pour notre trajet, forfait pour le roulage.

METHODOLOGIE POUR LE CALCUL DU CARBURANT

Détaillons étapes par étapes les divers critères nécessaires d'une préparation correcte de la charge du carburant. Regardons d'abord :

Les caractéristiques de l'avion

Type d'avion : Court - moyen – transport de passagers

Fabricant Boeing Société d'Avion Commerciale, à Seattle, aux ETATS-UNIS

Nombre de places assises : OB/ 132 E-40B/ 84 E (variable)

Place pour les jambes : C89cm, Y76cm

Longueur de l'avion : 33,60 m

Longueur de l'aile : 34,30 m

Hauteur de l'avion : 12,60 m

| | | | |
|---------------------------------|------------|----------------------|---------------|
| Poids de décollage maximum : | 70.080 kg | = | 154.176 lbs |
| Poids d'atterrissage maximum : | 58.604 kg | = | 128.929 lbs |
| Poids à vide : | 37.728 kg | = | 83.175 lbs |
| Poids utile en charge maximum : | 15.000 kg | = | 33.000 lbs |
| Capacité de carburant : | 20.536 kg | = 25.834 litres | = 40.999 lbs |
| Brûlez : | 2.500 kg/h | = 3.145 litres/heure | = 4.991 lbs/h |

Fabricant de moteur : CFM International

Type de moteur : CFM 56-7B24/2

Poussée maxima : 24.000 livres

| | | | |
|--|---------------|---|----------------|
| Vitesse de décollage : | 240-290 km/ h | = | 129 – 156 kt/h |
| Atterrissage de vitesse : | 205-283 km/ h | = | 110 – 152 kt/h |
| Vitesse de croisière moyenne | 850 km/ h | | |
| Vitesse de croisière maxima en altitude à 33.000 pieds : | 880 km/ h | = | 475 kt/h |

Distance franchissable max. sans poids utile en charge : 6.038 km = 3260 NM

Distance franchissable max. avec poids utile en charge : 5.100 km = 2753 NM

Équipage : 6 (Cockpit 2, Cabine 4)

Poids sans carburant (ZFW)

Poids basique opérationnel à vide : **37.728 kg**

Selon le tableau rempli ci-dessous nous avons

PMDG Aircraft Load Manager

600_Single | 600_Mixed | 700_Single | 700_Mixed

First Class 7 Coach 95

Forward 2773 Aft 2727

Units: Pax Weight 8345 Max Takeoff Weight 69773
Kg Cargo Weight 5500 Max Zero Fuel Weight 54773
Zero Fuel Weight 51573 Max Poss. Fuel Load 18200

[Precision Manuals Development Group Homepage](#) [Precision Manuals Development Group Email](#) Save Exit

7 passagers en 1^{ère} classe
95 passagers en classe économique

Cargo avant 2773 kg
Cargo vers l'arrière 2727 kg

Passagers' 8345 kg
Cargo total 5500 kg
Poids ZFW 51573 kg
Poids décollage max 69773 kg
Poids ZFW max 54773 kg
Max charge carburant 18200 kg

Passagers = 8345 kg
Cargo total = 5500 kg

Soit une charge commerciales de : **13845 kg**

Soit un poids à vide ZFW de : **51573 kg**

Pour poursuivre notre calcul de carburant il faut connaître la distance du chemin parcouru lors du vol et la météo.

Prenons par exemple un vol de Genève (LSGG) et Londres (EGLL). La distance parcourue sera déterminée avec le plan de vol que nous établirons avec « Fs Navigator » La météo sera déterminée avec « Serve Info » et « Suisse Météo » D'autres programmes existes.

Météo

Je prends la météo pour déterminer quelles piste doit être utilisée, par contre si il y a l'ATC il faut voir ses informations.

```
LSGG Geneva METAR observed at: 19 Dec 07:20 UTC (38 minutes ago)
Wind direction: from 230 degrees varying from 210 to 270 degrees
Wind speed: 12 knots
Visibility: 9000 meters
Present weather: Light Rain
Sky conditions:
  Few (1/8-2/8) at 1000 feet
  Broken (5/8-7/8) at 3000 feet
```

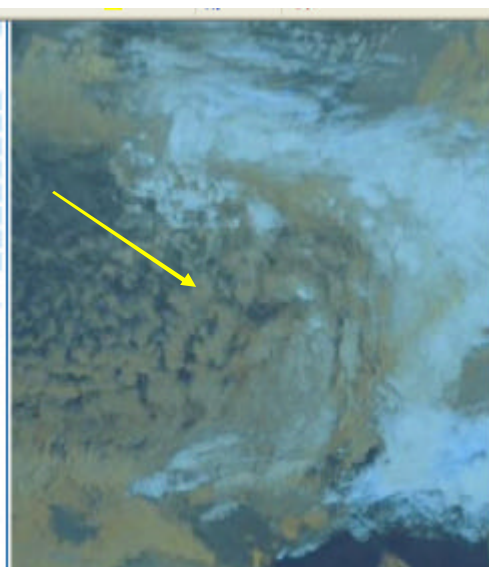
Geneve Switzerland

La piste en service est la 23 puisque nous avons un vent au 230 degrés à 12 nœuds.

```
EGLL London-Heathrow METAR observed at: 19 Dec 07:20 UTC (46 minutes ago)
Wind direction: from 50 degrees varying from 20 to 80 degrees
Wind speed: 13 knots
Visibility: More than 10 kilometers
Sky conditions:
  Few (1/8-2/8) at 4000 feet
  Broken (5/8-7/8) at 14000 feet
  Broken (5/8-7/8) at 25000 feet
```

London-Heathrow United Kingdom

Même remarque pour l'ATC. Nous avons un vent au 50 degrés avec une vitesse de 13 nœuds



Selon la photo satellite du jour,

Nous avons un vent de 284 degrés et 57 kts pour notre vol de croisière à l'altitude de FL 310.

Par rapport au cap de 327 degrés de l'avion, cela nous donne un vent contraire d'une vitesse de :

$$327 - 284 = 43 \text{ degrés}$$

$$90 - 43 = 47 \text{ degrés}$$

$$\sin a \text{ de } 47 = 0,73135$$

$$\text{Vitesse du vent effectif} = 57 \times 0,73135 = \mathbf{41,7 \text{ kts}}$$

Explication :

Si on a un vent de face on a :

$327 - 327 = 0$ degré de différence entre le cap de l'avion et la direction du vent

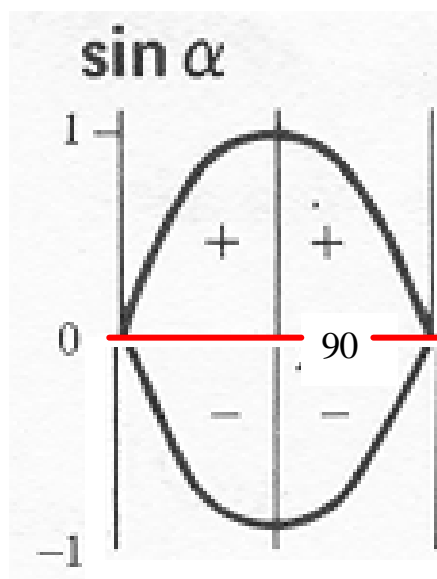
$90 - 0 = 90$ degrés

Le sin a de $0 = 1$

Vitesse du vent effectif = $57 \times 1 = 57$ kts

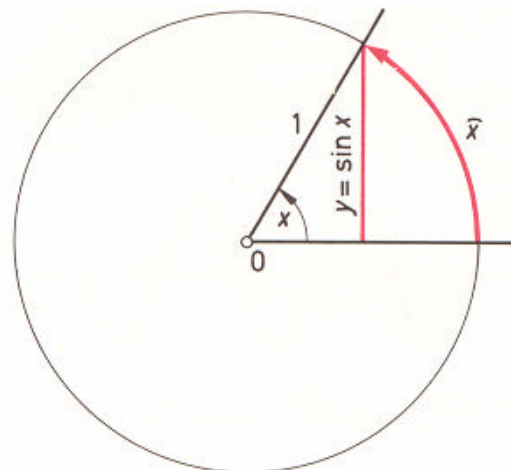
Pourquoi :

Si nous regardons la représentation graphique, nous remarquons :



Plus l'angle tend vers 90 degrés plus le sin a tend vers 1

Y étant la valeur du sin a



Comment trouver une **valeur approximative** du sin a si nous n'avons pas de machine à calculer où une table trigonométrique.

Si l'angle calculé a ($90^\circ - ?$ cap avion, direction du vent)

Si l'angle est compris entre 0° et 5° Le sin a = **0**

Si l'angle est compris entre $<5^\circ$ et 30° Le sin a = **l'angle divisé par 60**
Exemple : $20^\circ / 60 = 0,3333$

Si l'angle est compris entre $<30^\circ$ et 70° Le sin a = **(le dixième + 2) / 10**
Exemple : $60^\circ = (6 + 2) / 10 = 0,8$

Si l'angle est compris entre $<70^\circ$ et 90° Le sin a = **1**

Voyons maintenant la distance parcourue avec FS Navigator.

Plan du vol

LSGG RWY 23 (ILS/GS/DME 109.90)

SID : DIPIR 2A

Route : PAS40

DIJ (DME 113.50)
TRO (VOR 116.00)
BSN (VOR/DME 114.85)
GI (NDB 339.0)
ALESO (ISEC)
TIGER (ISEC)
D139L (ISEC)

STAR : BIG 3B (VOR/DME 115.10)

EGLL RWY 9R (ILS/GS/DME 109.50) (Heathrow London)

Altitude de croisière : FL 310

Distance : **445 NM**

Aérodrome de décollage EGSS (Stansted London city)

Distance entre les deux aérodromes **36 NM**

En nous référent aux prévisions météorologiques, nous avons un vent effectif calculé page 4 qui est de **41,7 kts** dans le sens opposé. Ce vent durant notre vol nous ralentira et augmentera le temps qu'il nous faudra pour arriver à Londres.

Pour déterminer ceci nous allons utiliser le tableau ci-dessous :

Ce tableau est établi en fonction de certaines valeurs pour :

La montée : 250 k IAS jusqu'à FL 100 puis 280 k IAS jusqu'à l'altitude de croisière

La croisière : MACH 0,78 à l'altitude de croisière

La descente : MACH 0,78 jusqu'à FL 250, 280 k IAS jusqu'à FL 100, 240 k IAS en dessous

| DISTANCE (nm) | ALTITUDE PRESSION (x1000 pieds) | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 29 | | 31 | | 33 | | 35 | | 37 | |
| | Carb. | Temps | Carb. | Temps | Carb. | Temps | Carb. | Temps | Carb. | Temps |
| 200 | 3.3 | 0:38 | 3.3 | 0:37 | 3.3 | 0:37 | 3.3 | 0:37 | 3.3 | 0:37 |
| 400 | 5.5 | 1:09 | 5.5 | 1:07 | 5.4 | 1:06 | 5.3 | 1:05 | 5.3 | 1:04 |
| 600 | 7.8 | 1:39 | 7.7 | 1:37 | 7.5 | 1:35 | 7.4 | 1:33 | 7.3 | 1:32 |
| 800 | 10.1 | 2:10 | 9.9 | 2:07 | 9.7 | 2:04 | 9.5 | 2:01 | 9.3 | 2:00 |
| 1000 | 12.4 | 2:40 | 12.1 | 2:36 | 11.8 | 2:32 | 11.6 | 2:29 | 11.4 | 2:27 |
| 1200 | 14.7 | 3:09 | 14.4 | 3:05 | 14.1 | 3:00 | 13.7 | 2:57 | 13.5 | 2:54 |
| 1400 | 17.1 | 3:39 | 16.7 | 3:33 | 16.3 | 3:28 | 15.9 | 3:24 | 15.6 | 3:22 |
| 1600 | 19.5 | 4:08 | 19.0 | 4:02 | 18.5 | 3:56 | 18.1 | 3:52 | 17.7 | 3:49 |
| 1800 | 21.9 | 4:38 | 21.3 | 4:31 | 20.8 | 4:24 | 20.2 | 4:20 | 19.9 | 4:16 |
| 2000 | 24.3 | 5:07 | 23.6 | 4:59 | 23.0 | 4:52 | 22.4 | 4:47 | 22.0 | 4:43 |
| 2200 | 26.8 | 5:36 | 26.1 | 5:27 | 25.4 | 5:19 | 24.7 | 5:14 | 24.2 | 5:10 |
| 2400 | 29.3 | 6:04 | 28.5 | 5:55 | 27.7 | 5:47 | 27.0 | 5:42 | 26.5 | 5:37 |
| 2600 | 31.8 | 6:32 | 30.9 | 6:23 | 30.1 | 6:14 | 29.3 | 6:09 | 28.8 | 6:04 |
| 2800 | 34.3 | 7:01 | 33.3 | 6:50 | 32.4 | 6:42 | 31.6 | 6:36 | 31.1 | 6:31 |
| 3000 | 36.8 | 7:29 | 35.8 | 7:18 | 34.8 | 7:09 | 33.8 | 7:03 | 33.3 | 6:58 |
| 3200 | 39.4 | 7:57 | 38.3 | 7:45 | 37.2 | 7:36 | 36.3 | 7:30 | 35.8 | 7:24 |
| 3400 | 42.1 | 8:24 | 40.9 | 8:12 | 39.7 | 8:03 | 38.7 | 7:57 | 38.3 | 7:51 |
| 3600 | 44.7 | 8:52 | 43.4 | 8:40 | 42.2 | 8:30 | 41.1 | 8:23 | 40.7 | 8:17 |
| 3800 | 47.3 | 9:19 | 46.0 | 9:07 | 44.7 | 8:57 | 43.6 | 8:50 | 43.2 | 8:44 |
| 4000 | 49.9 | 9:47 | 48.5 | 9:34 | 47.2 | 9:24 | 46.0 | 9:17 | 45.7 | 9:11 |
| 4200 | 52.7 | 10:13 | 51.2 | 10:01 | 49.8 | 9:50 | 48.7 | 9:43 | 48.1 | 9:37 |
| 4400 | 55.5 | 10:40 | 53.9 | 10:27 | 52.4 | 10:17 | 51.3 | 10:10 | 50.6 | 10:04 |
| 4600 | 58.3 | 11:07 | 56.6 | 10:54 | 55.1 | 10:43 | 54.0 | 10:36 | 53.1 | 10:30 |
| 4800 | 61.0 | 11:34 | 59.3 | 11:21 | 57.7 | 11:10 | 56.6 | 11:03 | 55.6 | 10:57 |
| 5000 | 63.8 | 12:01 | 62.0 | 11:48 | 60.4 | 11:37 | 59.3 | 11:29 | 58.0 | 11:24 |

Notre distance est de 445 NM et notre altitude de croisière est de FL 310

Nous remarquons que notre distance se trouve entre 400 NM et 600 NM. Il faut alors interpoler le carburant et la durée du vol, de la manière suivante :

Carburant : 400 = 5500

600 = 7700

Différence : = 2200 pour 200 NM se qui donne 11 pour 1 NM et 495 pour 45 nm

Un total pour 445 NM = 5500 + 495 = **5995 lbs**

Pour la durée du vol même principe de calcul et on arrive à :

Durée du vol pour 400 NM = 1h 07
Durée du vol pour 600 NM = 1h 37
Différence pour 200 NM = 0h30
Différence pour 1 NM = 9 sec (30min x 60) / 200
Durée pour 45 NM = 405 sec soit 6min 45sec
Durée de vol pour 445 NM = **1h 14**

Puisqu'il nous faut plus de temps pour arriver à destination, nous allons brûler plus de carburant.

Pour déterminer l'effet du vent sur notre trajet nous effectuons le calcul suivant :

1h 14min font en heure décimale = 1,23

L'ajustement de la composante du vent est : Heure décimale x la vitesse du vent effectif

$$1,23 \times 41,7 = \mathbf{51}$$

Pour déterminer la distance du vol effective nous allons additionner la valeur de la composante du vent avec la distance prévue du vol

$$445 + 51 = \mathbf{496 \text{ nm}}$$

Pour estimer le carburant qu'il nous utiliser pour voler cette distance effective, il faut reprendre le tableau avec la nouvelle valeur de 496 NMa

| | |
|--|-----------------|
| Consommation de carburant en vol en lbs | 6556 lbs |
| Consommation de carburant en vol en litre (1 lbs = 0,63 litre) | 4130,3 L |
| Consommation de carburant en vol en kg (1 L = 0,72 kg) | 2974 kg |

Temps : **1h 22min**

Nous devons maintenant prévoir le carburant pour **l'aéroport de dégagement**. Pour notre cas nous avons pris (EGSS = distance 36 NM)

| | |
|--|----------------|
| Ce qui représente une consommation supplémentaire de | 596 lbs |
| Soit en kilos | 270 kg |

Nous devons également prévoir que nous soyons mis en **circuit d'attente** pour une raison de trafic ou brouillard par exemple. La quantité de carburant est une décision de plusieurs critères :

Règle de la compagnie, sur l'expérience, la connaissance de l'appareil, des diverses conditions météorologiques que l'avion risque de traverser. Pour notre cas nous prenons :

Carburant pour circuits d'attente **2'000 lbs**
907 kg
Soit

Il est important de prévoir le carburant pour **le roulage**, du parking jusqu'à l'alignement sur la piste de décollage, puis l'inverse lors de l'atterrissage.

Pour le type de notre avion une valeur jugée suffisante est de 500 lbs
Soit **227 kg**

La réserve. Point très important, car si nous devons effectuer tous ces points : Le roulage, le vol, le circuit d'attente, puis le dégagement sur le 2eme aérodrome, nos réservoirs seront à sec !!! Bonjour l'ambiance à bord...

C'est le carburant de réserve finale. Pour ce type d'avion la plus petites quantité de carburant qu'il devrait rester à l'atterrissage est de :

Carburant de réserve **1'800 lbs**
817 kg
Soit

Remarque importante

Si le vent est perpendiculaire au vol, ceci implique un sinus α de 0 degré, d'où une vitesse du vent effective de 0 kts. Bien entendu il aura une incidence sur le cap de l'avion,

Par contre si le vent est dans le même sens que l'avion, ceci diminuera la durée du vol

Prenons notre ancienne valeur de la vitesse du vent qui est de 57 kts mais à 104 degrés. Notre avion est toujours au 284. Ce qui donne :

$$284 - 104 = 180 \text{ degrés}$$

Selon le graphique page 5 nous aurons une valeur du sinus de **-1**

Prenons les valeurs de la page 8, mais avec le nouveau sens du vent:

$$57 \text{ kts} \times -1 = -57 \text{ kts}$$
$$\text{heure décimale } 1,23 \times -57 = -70$$

$$445 - 70 = \mathbf{375 \text{ NMa}}$$

Ceci représente la valeur de la distance effective.

Vous prenez cette valeur pour faire les calculs du carburant, avec la même marche à suivre.

CALCUL DU CARBURANT BOEING 737-700

| | | |
|--|---------------------------------------|----------------------|
| Poids basique opérationnel à vide : | + Kg | 37'728 |
| Structure de l'appareil, Les divers fluides huile et air conditionné, eau potable Carburant résiduel, équipage avec bagages, Équipement pour le service aux passagers | | |
| Charges commerciales : | + Kg | 13'845 |
| Poids de tous les passagers Bagages et fret | | |
| POIDS ZFW (Sans le carburant) Ne doit pas dépasser 54'773 kg | = Kg | <u>51'573</u> |
| Poids ZFW : | + Kg | 51'573 |
| Carburant de réserve finale : | + Kg | 817 |
| Carburant qui reste après l'extinction des moteurs | | |
| Carburant de dégagement : | + Kg | 270 |
| Carburant pour la destination de l'aéroport de dégagement | | |
| Carburant d'attente : | + Kg | 907 |
| Carburant pour circuits d'attente ou multiples approches | | |
| POIDS PREVU A L'ATTERRISSAGE Ne pas dépasser 58'050 kg | = Kg | <u>53'567</u> |
| Poids prévu à l'atterrissage : | + Kg | 53'567 |
| Consommation du carburant en vol : | + Kg | 2'974 |
| Selon vitesse et altitude de croisière | | |
| POIDS PREVU AU DECOLLAGE : Ne pas dépasser 60'300 kg | = Kg | <u>56'541</u> |
| Poids prévu au décollage : | + Kg | 56'541 |
| Carburant pour le roulage : | + Kg | 227 |
| POIDS TOTAL PREVU | Ne pas dépasser 60'550 kg = Kg | <u>56'768</u> |

Gestion du carburant dans le FMC

Dans la page INIT REF REF placez dans la fenêtre RESERVE l'addition des valeurs de :
Carburant de réserve finale + le carburant de dégagement.

NE JAMAIS IGNORER L'ALERTE «INSUFFICIENT FUEL»