

007/2001 Ed 2

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE



UNIVERSITE DE BLIDA



**Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'Etat en Aéronautique option :
« « OPERATIONS AERIENNES » »**

THEME :

***Elaboration d'un logiciel de calcul du COST INDEX
« « cost index software » »
(B767-300, B737-800, A310-203)***

Réalisé et Présenté par :

- ♦ GOUDJIL Samir
- ♦ LAMRI Adel

Promoteur :

**Monsieur :
TERMELLIL Farid**

Année universitaire « 2000 – 2001 »

REMERCIEMENTS

Merci à Dieu tout puissant qui a éclairé notre chemin jusqu'au bout.

Nous voulons adressé notre sincères remerciements à notre promoteur Mr. TERMELLIL Farid, pour le suivi, les conseils et son aide qui nous ont permis la réalisation de ce travail et encore mille fois merci.

Nous remercions aussi Mr. BENAÏSSA pour ses conseils et Achour pour son aide.

Sans oublier d'exprimer notre extrême gratitude à l'égard de l'ensemble des enseignants de l'institut d'Aéronautique et surtout messieurs BERGUEL et DRIOUCHE.

GOUDJIL Samir et LAMRI Adel.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mon père qui ma tant soutenu moralement, par son attention et sa présence.

A ma mère qui a souvent partagé mes angoisses et qui a inlassablement veillé sur mon sommeil et mon départ à l'aube.

A ma sœur WASILA et mes frères surtout BOUALEM.

A tous mes Amis particulièrement MOUSSA, NOURI, KAMEL (smina), LEILA, CHAHRA, LARBI, ARSSELAN.

A mon cher binôme ADEL et ces parents.

En dernier j'offre ces lignes avec toute ma tendresse et mon AMOUR à celle qui ne ma jamais abandonnée, qui ravi mon cœur à ma futur femme, à celle que j'aime le plus au monde MERIEM.

SAMIR

A Meriem

Dédicace

Ce modeste travail est dédié à :

- Mes très chères parents.
- Mes chers grands parents.
- Ma sœur : Nihad.
- Mes frères : Tarek et Wail.
- Mes chers oncles et tantes.
- Mes cousins et cousines.
- Mes amis(es) : Chahra, Leïla, Samir, Larbi, Rabia, Mohamed, Méraga, Nounou, Samir, Sid-Ahmed, Kamel, toute la promotion des 5^{ème} année Opérations et à tous ceux que je n'ai pas pu citer.

ADEL LAMRI

SOMMAIRE

INTRODUCTION	7
CHAPITRE I: Présentation de la compagnie.	8
1. Réseaux.	9
A. Domestique.	9
B. International.	10
2. La flotte.	10
CHAPITRE II: Rappels théoriques.	12
I. Les consommations.	13
1. Consommation horaire.	13
2. Consommation distance.	13
3. Consommation spécifique.	13
II. Rayon d'action spécifique (Rs).	14
1. Rs en fonction d'autres paramètres.	14
2. Etudes des courbes de Rs.	15
III. Les profils de vol.	17
1. La montée.	17
1.1. Montée en exploitation.	17
A. Montée à pente maximale.	17
B. Montée à vitesse ascensionnelle maximale.	18
C. Montée à consommation minimale.	19
D. Montée à prix de revient minimum.	20
2. La descente.	22
2.1. Descente en exploitation.	22
A. Descente à consommation minimale.	22
B. Descente à prix de revient minimum.	22
C. Descente de secours.	23
3. La croisière.	23
3.1. Les régimes de marches.	23
A. Maxi Range (MMR).	24
B. Long Range (MLR).	25
C. Mach à prix de revient minimum (MPRM).	26
D. Mach constant.	28
3.2. Altitude optimale.	28
4. l'Attente.	30
A. Choix de la vitesse d'attente.	30
B. Altitude optimale d'attente.	31

CHAPITRE III : Les coûts d'exploitations.	34
- Introduction.	35
I. Définition.	35
1. L'analyse des termes de la formule.	37
1.1 Les coûts fixes.	37
A. Amortissement.	37
B. Les charges financières.	37
C. Les assurances.	37
1.2 Les coûts variables.	38
A. Coût carburant.	38
B. Coût PNT/ PNC.	38
C. Coût maintenance.	38
D. Coût assistances.	38
E. Redevances de survol.	39
F. Redevances aéroportuaires.	39
II. Les coûts d'exploitations liés aux opérations.	41
CHAPITRE IV : Le FMC et le Cost Index.	42
I. Le FMS.	45
1. La constitution du système FMS.	45
2. Les fonctions réalisées par le FMS.	45
3. Le FMC et le CI.	46
II. Optimisation du profil de vol par le FMC à partir du CI.	46
a. Vitesse économique (ECON SPEED).	46
1. La croisière.	48
1.1 Mach économique de croisière et le FMC.	49
A. Etude du Cost Index comme fonction de Rs.	49
B. Détermination du Mach économique par le FMC.	52
1. Définition de l'ECCF.	52
2. Analyse de l'équation ECCF.	53
C. Effet du vent sur l'ECCF.	55
D. Altitude déterminer par le FMC à partir du CI.	57
2. La montée.	58
a. Détermination de la vitesse économique de montée par le FMC.	58
b. Analyse.	58
3. La descente.	60
a. Détermination de la vitesse économique de descente par le FMC.	60
III. Résumé.	62
IV. Effet du cost index sur les coûts d'exploitations.	63

CHAPITRE V : Méthodes de calcul du Cost Index.	66
I. Définition du Cost Index.	67
II. Les méthodes de calcul du CI.	68
1. Approximative.	68
2. Rigoureuse.	69
a. Coût carburant.	69
b. Coût P.N.	71
c. Coût maintenance.	71
CHAPITRE VI : Le logiciel.	75
I. Description du logiciel.	76
A. La saisie des tables.	76
B. Remplir les paramètres des vols.	76
C. Le calcul du CI.	76
II. Architecture du logiciel.	77
III. Présentation du logiciel.	78
CONCLUSION	90
ANNEXES :	91
1. Les escales.	92
2. Rappels théoriques.	95
3. Structure du FMS.	96
4. Les imprimés	97
BIBLIOGRAPHIE	104

LES ABREVIATIONS

◆ A - B :

a : célérité du son.
a₀ : célérité du son.
ATC : Air Traffic Control.

◆ C - D :

CAS : Vitesse conventionnelle.
CDU : Control Display Unit.
Ch : Coût de l'heure de vol.
CH : Consommation horaire.
CD : Consommation distance.
CI : Cost Index.
Cf : Coût fuel.
C_{sp} : Consommation spécifique.
DME : Distance Measuring Equipement.
DA : Dinars Algérien.

◆ E - F :

ECCF : Economy Cruise Cost Function.
EV : Equivalent vitesse.
EFIS : Electronic Flight Indicator system.
FMS : Flight Management System.
FMC : Flight Management Computer.
F : Finesse.

◆ G - H - I - J :

g : Accélération de la pesanteur.
g₀ : Accélération de la pesanteur.
GPS : Global Positionning System.
IAS : Vitesse indiqué.
ILS : Instrument Landing System.
IRS : Inertial Reference System.

◆ K - L - M - N :

K : coefficient de transport.
m : Masse.
M : Mach.
MMR ou MRC : Mach Maxi Range.

MLR ou LRC : Mach Long Range.
MPRM : Mach de prix de revient minimal.
MTOW : Maximum Take off Weight.
NM : Nautique miles.
lb : pound.
ND : Navigation Display.
MLW : Maximum Landing Weight.

◆ **O - P - Q - R :**

Rz : La portance.
Rx : La traînée.
Rs : Rayon d'action Spécifique.
PFD : Primary Flight Display.
P : Pression.
P_o : Pression.
PRM : Prix de Revient Minimal.
PNT : Personnel Navigant Technique.
PNC : Personnel Navigant Commercial.
OACI : Organisation de l'Aviation Civil International.

◆ **S - T - U - V - W - X - Y - Z :**

Tu : Poussée utile.
Tn : Poussée nécessaire.
T : Température.
T_o : Température.
V : Vitesse.
Vp : Vitesse Propre.
Vs : Vitesse sol.
Ve : Vitesse vent.
Vz : Vitesse verticale ascensionnelle.
VMO : Vitesse Maximale Opérationnelle.
Wf : fuel flow.
Wn : puissance nécessaire.
Wu : puissance utile.
Zp : Altitude pression.

◆ **Les symboles :**

σ :
Densité de l'air.

ρ :
Masse volumique de l'air.

ρ_o :
Masse volumique de l'air.

θ :
Pente de l'avion.

α_{amb} :
Rapport de la température T/To

◆ **Les conversions :**

- 1 feet = 0,3048 mètres.
- 1 Nautical mile = 1852 mètres.
- 1 lb (livre ou pound) = 453,592 gramme.
- 1 US Gallon = 3,785 litres.
- 1 kt (knots) = 0,515 mètres /second = 1,852 km/h.

INTRODUCTION :

Le but d'une compagnie aérienne est de maximiser ses gains tout en minimisant les coûts d'exploitations de ses avions, par la mise en place de tous les voies et moyens réglementaires pour une rentabilité maximale de sa flotte.

Mais le grand problème qui se pose aux compagnies est de trouver les procédures les plus adéquates pour rentabiliser au maximum leurs aéronefs avec toutes les contraintes qui sont liées à l'exploitation. Ces dépenses ont un impacts très important sur l'exploitation.

Il est avéré plus que nécessaire, de déterminer une bonne politique de gestion et les objectifs à atteindre. Ceci entraîne la nécessité de maîtriser avec précision les coûts d'exploitation.

La principale méthode consiste à minimiser les coûts directes d'un vol. Pour l'obtenir, il faut réaliser le compromis entre le temps de vol et la consommation de carburant.

Ce compromis est atteint par un paramètre qui est le **COST INDEX**, lequel est injecté dans le CDU du FMS et qui se traduira par des vitesses économiques. Ainsi donc, réaliser le compromis voulu et obtenir la rentabilité escomptée des avions de la compagnie.

Dans ce contexte, et le besoin de la compagnie Air Algérie, nous avons mis au point un logiciel de calcul du **COST INDEX** pour les avions de types B767-300, B737-800, A310-203 de ladite compagnie.

CHAPITRE I:

Présentation de la compagnie.

Introduction :

Air Algérie a été créée en 1947 dans le but d'exploiter un réseau dense de ligne entre l'Algérie et la France.

Depuis, cette compagnie a connue de grands changements l'entraînant ainsi dans une nette progression dans les domaines de la flotte et du réseau. Ces changements ont concerné la modernisation de sa flotte DC3 et DC4 par des Boeing 727 et 737 (au début des années 70), et l'acquisition plus tard de deux A310 et trois B767. L'achat de ces avions a permis d'avoir un réseau dense et plus important.

Mais avec la rentrée en force des compagnies privées, Air Algérie devait trouver de nouvelles solutions pour faire face à la concurrence. A cet effet, l'acquisition des appareils de la nouvelle génération type (B737-800 / 600) était plus que nécessaire.

1. Réseaux :

Le réseau d'Air Algérie se décompose en deux catégories :

- Domestique.
- International.

A- Domestique :

Actuellement 29 villes du territoire national sont reliées par les lignes Air Algérie entre le Nord et le Sud Algérien. Les villes concernées sont :

Les villes du Nord	Les villes du Sud
Alger	Adrar
Annaba	Bechar
Batna	Biskra
Béjaïa	Bordj Badji Mokhtar
Constantine	Djanet
Jijel	El Golea
Mascara	El Oued
Oran	Ghardaïa
Tebessa	Hassi Messaoud
Tiaret	Illizi
Tlemcen	In Amenas
	In Salah
	Ouargla
	Tamanrasset
	Timimoun
	Tindouf
	Touggourt

B – International :

Le réseau international d'Air Algérie est un réseau très vaste et est constitué des escales suivantes : (il existe 5 faisceaux)

France	Europe I	Europe II	M et M.O.	Afrique
Paris CDG	Madrid	Berlin	Tunis	Niamey
Marseille	Barcelone	Prague	Casablanca	Bamako
Lille	Palma	Sofia	Tripoli	Conakry
Metz	Alicante	Moscou	Caire	Lagos
Lyon	Rome	Istanbul	Djeddah	Ouagadougou
Toulouse	Genève		Bahrain	Agadez
Nice	Frankfurt		Amman	Abidjan
Bordeaux	Bruxelles		Damas	Nouakchott
Charleroi	Londres		Beyrouth	
	Gatwick		Doubaï	

Remarque :

Pour les trois avions (B767-300/B737-800 /A310-203) et leurs escales voir l'annexe 1.

2. La flotte : (2001)

La flotte actuelle d'Air Algérie est de :

- 10 : B727-200.
- 15 : B737-200.
- 5 : B737-800.
- 3 : B767-300.
- 2 : A310-203.
- 2 : L382 G.
- 7 : F27-400M.

Pour notre étude, voilà les caractéristiques des trois avions qui sont illustrées dans le tableau suivant :

➤ Caractéristiques des trois avions :

	B767-300	B737-800	A310-203
MTOW (kg)	156 489	78 244	138 600
MLW (kg)	136 077	65 317	121 500
MZFW (kg)	126 098	61 688	111 500
Type moteur	CF6-80C2B2F	CFM56-7b27	CF6-80A3

CHAPITRE II :

Rappels théoriques.

1. Les consommations :

1.1. Consommation horaire CH :

C'est la consommation de carburant par unité de temps, elle est généralement exprimée en Kg/ heure.

Exemple :

La consommation horaire (CH) pour le A 300 en croisière : 5800 Kg/h

La consommation horaire (CH) pour le B747 en croisière: 11000 Kg/h

1.2 Consommation distance CD :

C'est la consommation de carburant par unité de distance parcourue, elle est généralement exprimée en Kg/ NM.

$$CD = \frac{CH}{V_s} \quad V_s: \text{Vitesse sol.}$$

$$\text{par vent nul : } CD = \frac{CH}{V_p}$$

Exemple :

Ordre de grandeur pour le A 300 en croisière : 13 Kg/NM

Ordre de grandeur pour le B 747 en croisière : 22 Kg/NM

} par
vent nul.

1.3 Consommation spécifique C_{sp} :

$$C_{sp} = \frac{CH}{T_u} \quad T_u: \text{La poussé utile de moteur Exprimé en en Newton.}$$

C_{sp} est exprimé en Kg/(hxN).

II. Rayon d'action spécifique R_s :

C'est la distance parcourue par unité de consommation, il est exprimé en NM/Kg ou NM/ Tonne.

$$R_s = \frac{V_s}{CH} = \frac{1}{Cd}$$

$$\text{en vent nul : } R_s = \frac{V_p}{CH}$$

Exemple :

- Le A300 B2 à 33.000 ft, et à $M=0.8$; température std
m = 125 tonne, on aura un $R_s = 80,4$ (NM/ tonne).
- Le B747 à 35.000 ft, et à $M=0.8$; température std,
m = 270 tonne, on auras un $R_s = 44,4$ (NM/tonne).

II.1 R_s en fonction d'autres paramètres :

En palier stabilisé, et par vent nul :

$$R_s = \frac{V_p}{CH} \quad V_p = a \times M$$

$$CH = T_u \times C_{sp}$$

En palier on a :

$$T_u = T_n = \frac{mg}{f}$$

$$\left. \begin{array}{l} a = \sqrt{\gamma_S} \sqrt{T} \\ a = \sqrt{\gamma_S} \sqrt{T_0} \end{array} \right\} \frac{a}{a_0} = \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

d'où :

$$R_s = \frac{a_0 f M}{\frac{C_{sp}}{\sqrt{\frac{T}{T_0}}} \times mg}$$

en vent nul.

Remarques :

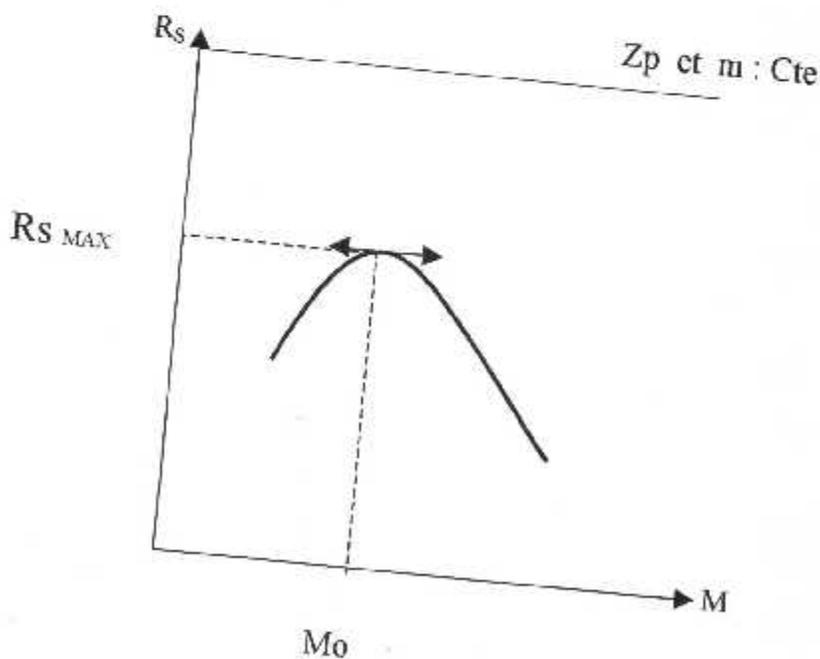
Le rayon d'action spécifique est fonction de :

- La vitesse de l'avion (nombre de Mach M).
- L'altitude T/T_0 .
- La finesse (f).
- La conduite moteur (C_{sp}).
- La masse de l'avion (m).

II.2 Etude des courbes de R_s :

A. R_s en fonction de (M) :

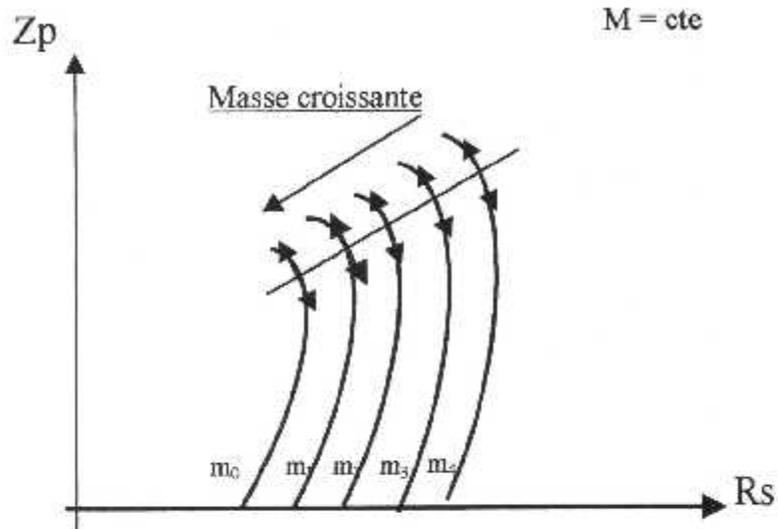
$R_s = f(M)$ Dans ce cas on a m et Z_p constantes.



M_0 est appelé Mach de maximum Range, qui correspond à un R_s max.

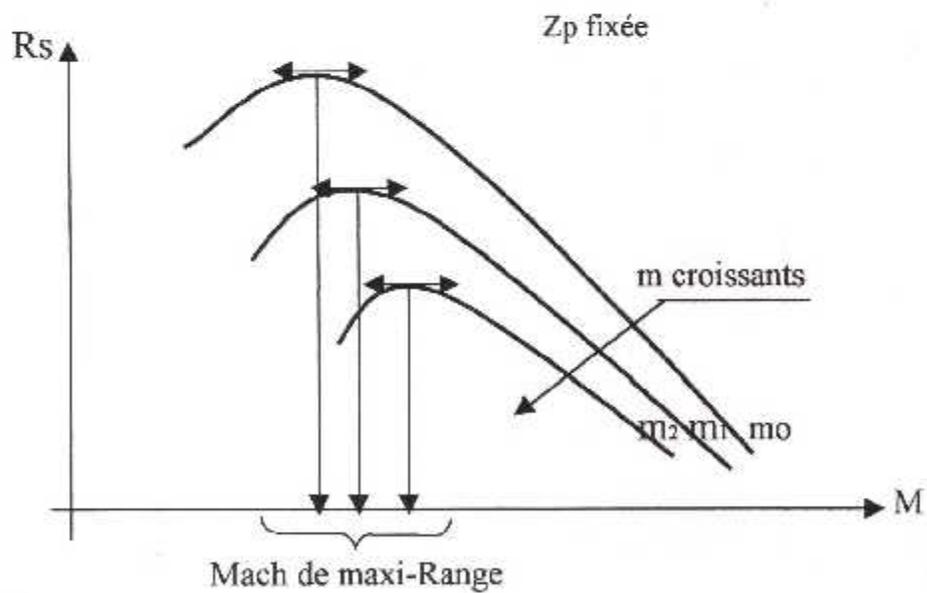
B. R_s en fonction de Z_p et m :

$R_s = f(Z_p, m)$, on a M constant.



C. R_s en fonction de M et m :

$R_s = f(M, m)$, on a un Z_p constant.



III. Les profils de vol :

III.1. La montée :

III.1.1 Montée en exploitation :

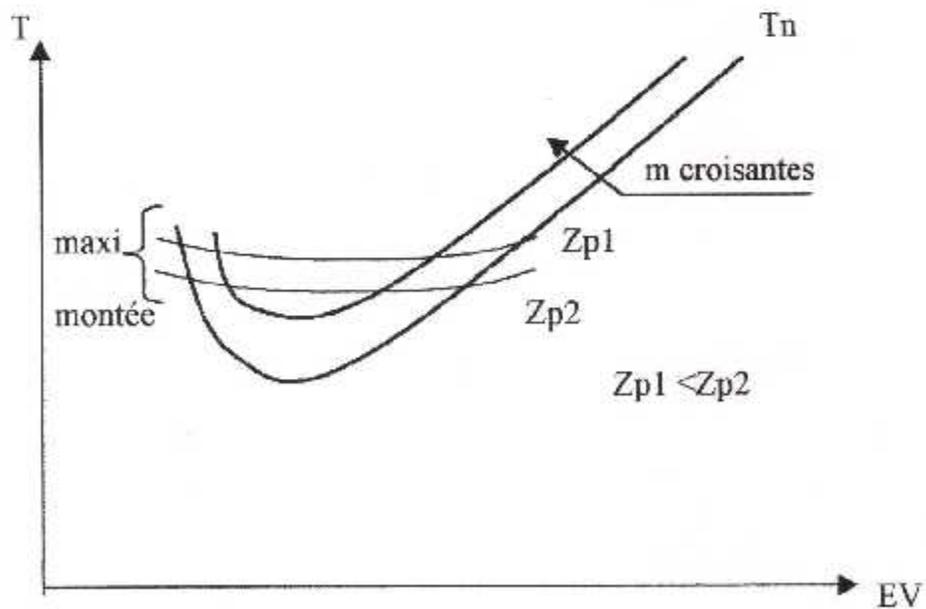
Dans cette étape, il existe quatre types de montée, qui sont :

- Montée à pente maximale.
- Montée à vitesse ascensionnelle maximale.
- Montée à consommation distance minimale.
- Montée à prix de revient minimal.

A. Montée à pente maximale :

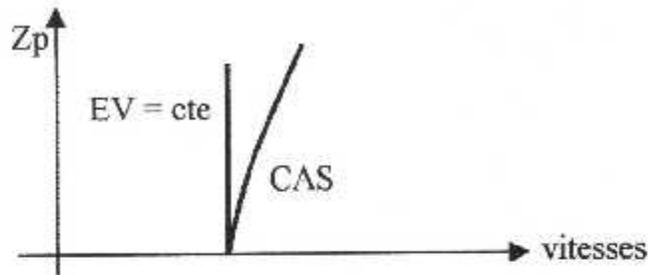
Dans ce type de montée il faut que :

- Régime moteur soit au : maxi-montée
- La vitesse de ce régime correspond à un vol à incidence de finesse max.



Remarque :

- Pour une masse m donnée, on voit que l'équivalent de vitesse EV de montée à pente maximum ne dépend pas de l'altitude Z_p .



or à $EV = cte$ lorsque Z_p augmente, CAS augmente.

Donc : m donnée, Z_p augmente \iff CAS de pente max augmente.

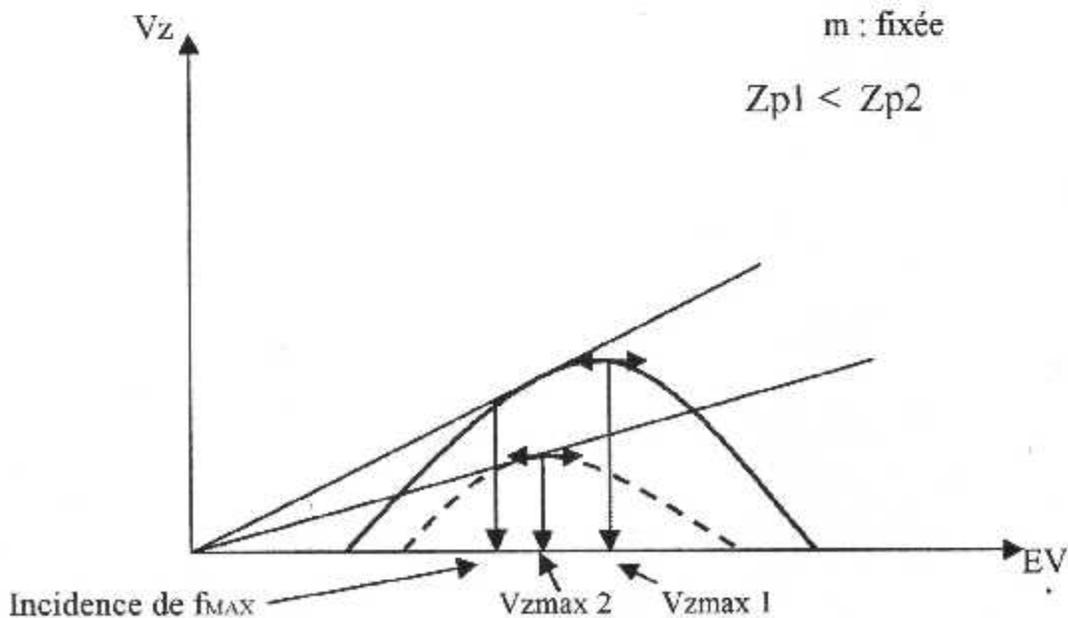
- A Altitude-Pression donnée, lorsque la masse augmente, EV correspondant à une poussée minimum qui augmente d'où :

Z_p donnée : m augmente \iff CAS de pente maximum augmente.

B. Montée à vitesse ascensionnelle maximale :

Dans ce type, la vitesse est fonction de la masse et de l'altitude, comme le montre bien le graphe suivant :

- Régime moteur: maxi-montée.



De ce graphe on constate que :

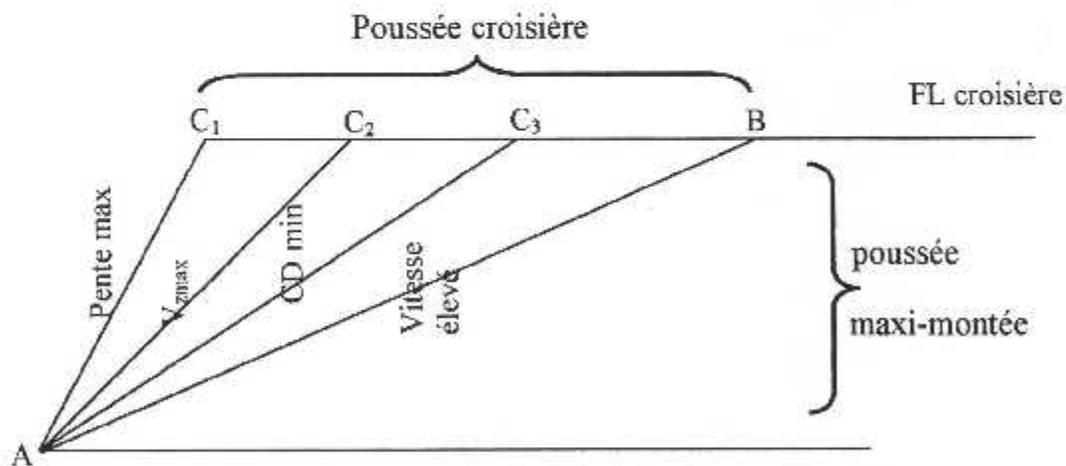
- A masse fixe, lorsque l'altitude augmente, la vitesse correspondante à V_{zmax} diminue, et tend vers la vitesse correspondante à la finesse max .
- Lorsque l'altitude est fixe et la masse augmente, la vitesse CAS de V_{zmax} augmente.

Remarque :

Elle est utilisée à la demande du contrôle pour rejoindre un niveau de vol dans un minimum de temps.

C. Montée à consommation distance minimale :

Pour ce type il faut que les moteurs soit à régime maxi-montée. il s'agit de minimiser la consommation entre (AB), pour cela il faut trouver la bonne vitesse à afficher.



Remarques :

- Ce type de montée est assez proche de la montée à vitesse max.
- En effet à la poussée maxi montée le moteur consomme à peu près 2 fois plus qu'en croisière, il faut donc minimiser le temps d'affichage de cette poussée, le temps minimum s'obtient à V_z max.

D. Montée à prix de revient minimum :

Régime moteur : Maxi-montée

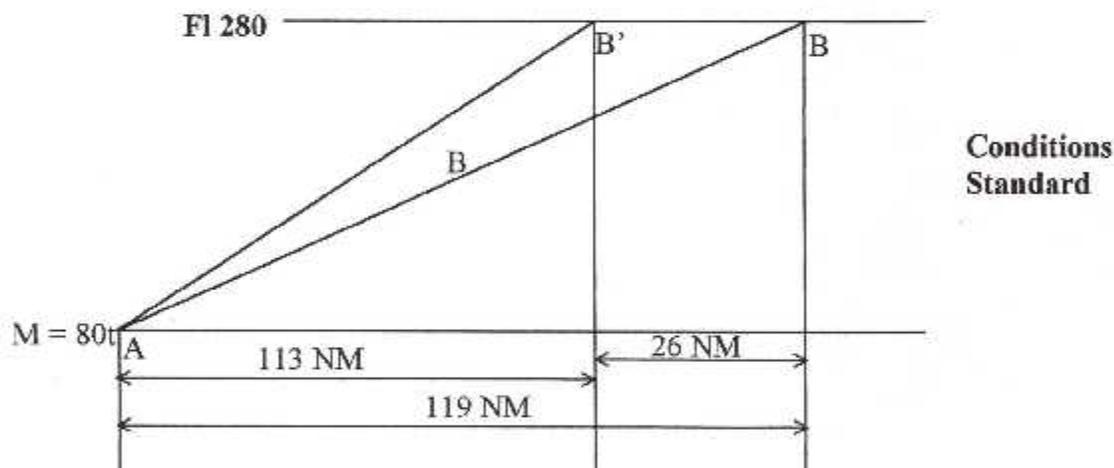
Il s'agit pour ce type de montée de réaliser le meilleur compromis entre le temps de montée et la consommation distance. pour cela il faudra afficher une vitesse supérieure à la précédente, de manière à moins se pénaliser sur le temps tout en perdant un peu sur la consommation.

Exemple :

B 727-200 :

- montée normal : 340 Kt / $M=0.78$.
- Montée à CD min : 280 Kt / $M=0,75$.

On va faire une comparaison entre les deux montées de cet avion.



- **Montée à CD mini :**

La distance $AB' = 113$ NM et le temps = 21 minutes,

Consommation=2550 kg.

Le palier BB' à $M=0.80$ CH = 4865 kg/h ; $V_p = 473$ kt.

consommation sur $BB' = 260$ Kg , temps = 3 minutes

Donc consommation sur $AB'B = 2810$ Kg , temps = 24 min 1/2.

- **Montée normale :**

Distance AB = 139 NM, temps = 22 minutes.

Consommation=2850 kg.

	Montée à CD min	Montée normal
Consommation (kg)	2810	2850
Temps de vol (minute)	24 min 1/2	22

De cet exemple, on voit que la montée à CD mini nous fait économiser 40 Kg de carburant, mais elle nous fait perdre 2 min ½ sur le temps de vol.

Remarques :

- Ce type de montée est utilisé lorsque le prix du carburant est moins cher, dans le cas contraire, les deux montées se rapprochent.
- Il y a d'autres types de montées qui sont rarement utilisées et il s'agit de : montée rapide (ou à vitesse élevée) et montée à poussée réduite :

*** Montée rapide :**

Elle est utilisée surtout pour les avions court courrier où le gain sur le temps de vol est très important.

*** Montée à poussée réduite :**

Elle est utilisée surtout pour les gros porteurs car elle intervient dans les coûts directs liés à l'heure de vol (le coût d'entretien).

III.2 Descente :

III.2.1 Descente en exploitation :

Pour cette étape de vol il existe trois types de descentes qui sont :

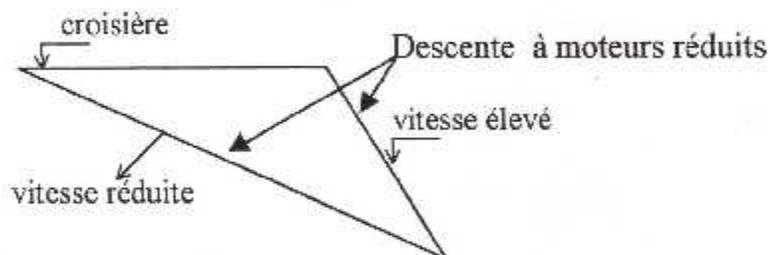
- Descente à consommation minimale.
- Descente à prix de revient minimal dite « normale ».
- Descente de secours.

A. Descente à consommation minimale :

Cette dernière, est utilisée pour réduire la consommation carburant sur une distance donnée.

Donc il s'agit de voler sur une plus grande distance à un régime moteur réduit et une pente réduite. Pour cela il faut réduire la pente de descente, donc se rapprocher de la vitesse de finesse max.

Exemple :



B. Descente à prix de revient minimum :

Il s'agit pour ce type de descente de réaliser le meilleur compromis entre la consommation distance et le temps de vol ; pour gagner du temps, il faudra rester en croisière un peu plus longtemps et descendre à une vitesse plus importante.

Compte tenu de la prépondérance de la consommation carburant dans les coûts d'exploitation, les vitesses de descentes ont tendance à diminuer jusqu'à atteindre une vitesse à finesse maximale.

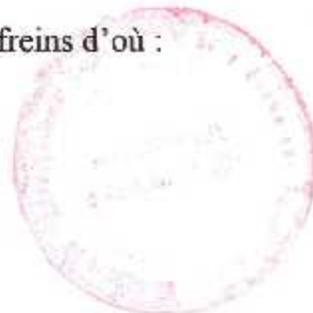
C. Descente de secours :

Pour obtenir une très forte vitesse verticale de descente il faut afficher la vitesse maximale et avoir les moteurs réduits.

Pour augmenter ces performances on pourra utiliser les aérofreins d'où :

Descentes de secours :

- V – VMO
- Moteur réduit
- Aérofrein, spoilers sortis.
- Train rentré.



Remarque :

Cette descente est utilisée en cas de panne de pressurisation.

III.3 La croisière :

C'est la phase la plus importante du vol .Et elle peut ce faire en quatre régimes de marche .

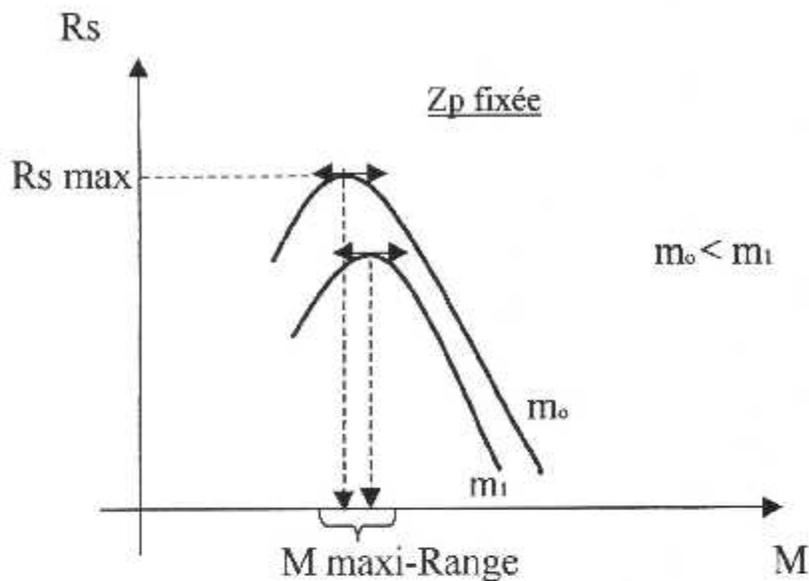
III.3.1 Les régimes de marches :

Les régimes de marches sont :

- Maximum range.
- Long range.
- Mach de prix de revient minimum.
- Mach constant.

A. Maximum Range :

Ce régime de marche ou ce Mach correspond à une consommation distance (CD) minimale ou à un rayon d'action max.



En général, le mach maxi range varie en fonction de la masse (m) et de (Z_p)

- A $Z_p = \text{cte}$ lorsque m augmente, M_{MR} augmente.
- A $m = \text{cte}$ lorsque Z_p augmente, M_{MR} augmente.

- Avantage :

Permet de minimiser la consommation du carburant.

- Inconvénient :

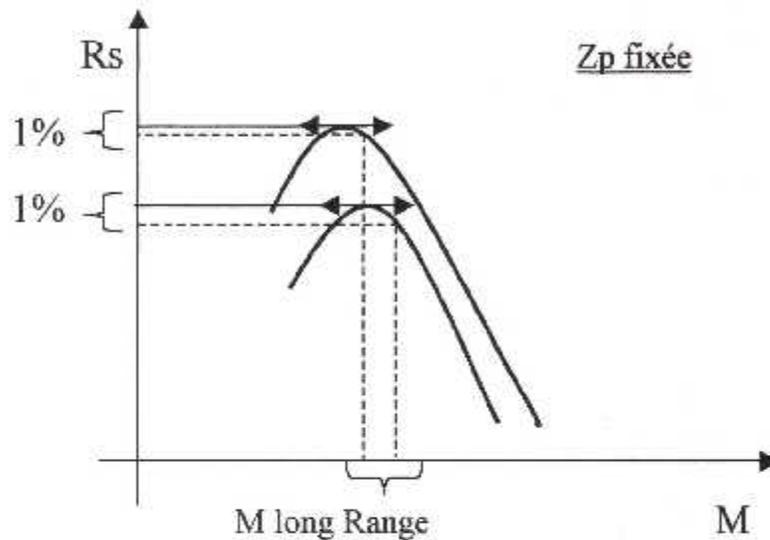
Si on n'affiche pas exactement ce nombre de Mach, la consommation distance augmente. Un vol programmé au maxi-range exigerait un affichage très précis des paramètres.

Remarques :

- Ce régime n'est utilisé qu'en secours au cours du vol.
- On programme rarement un vol à ce régime là.

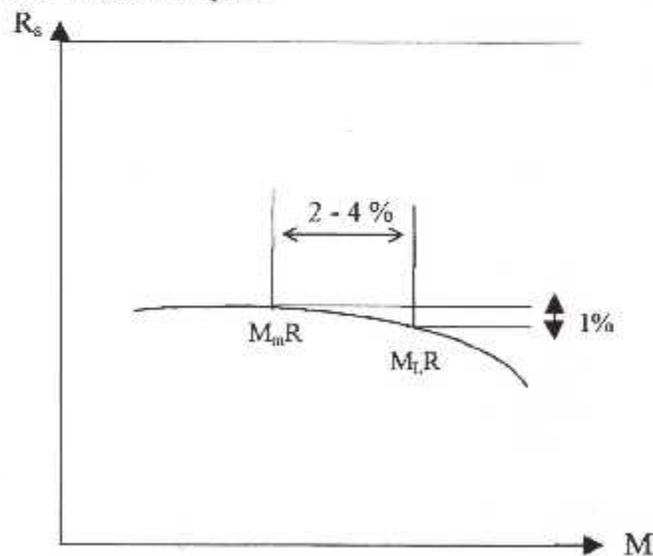
B. le Mach de long Range :

C'est un vol a un nombre de Mach supérieur au premier régime (M_{MR}), dans lequel le rayon d'action n'est réduit que de 1% par rapport à celui de Maxi range.



Avantages :

- Il permet d'aller plus vite que le maxi range 2 à 4 point de Mach, soit environs 2,5% de vitesse en plus.



- Tout Mach affiché par le pilote inférieur au long range se traduit par une diminution de la consommation.

Remarque :

Ce régime est utilisé pour des vols où l'économie de carburant est très intéressante.

C. Mach à prix de revient minimum :

C'est le nombre de Mach à afficher pour minimiser les coûts directs à l'heure de vol.

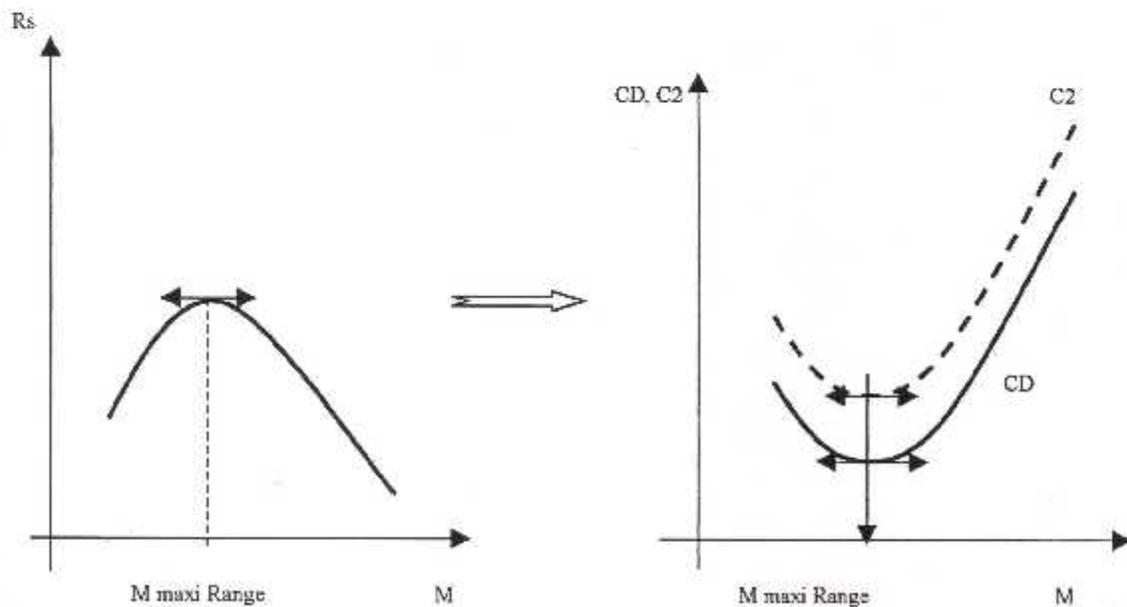
Ces coûts sont la somme de deux éléments :

- Coût liés au temps de vol (maintenance, et P.N),
- Coût carburant.

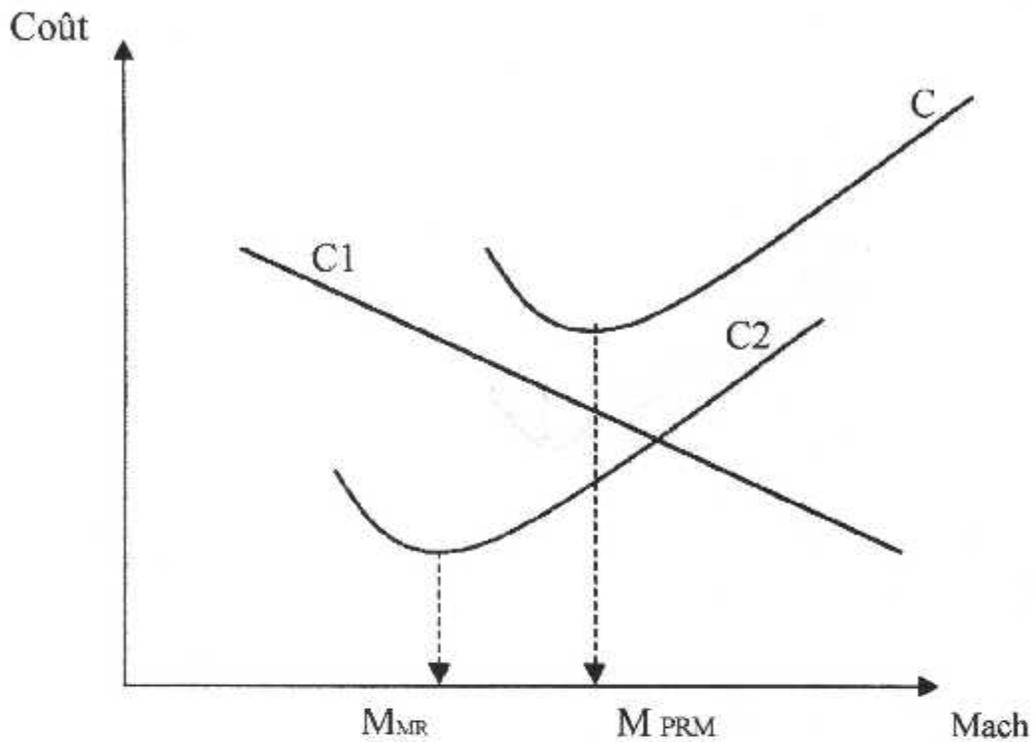
Soit K le coût marginal (maintenance et P.N) à l'heure de vol, et P_c le prix d'un kg de carburant.

- le coût (maintenance , P.N)/ NM : $C1 = K / V_p$.
- Le coût carburant / NM : $C2 = P_c \times C_D$.

Nous avons vu la variation de R_s en fonction de M :



d'où les courbes des coûts :



En général le Mach à prix de revient minimum varie en fonction de la masse, Z_p , et le coût carburant.

- la masse : lorsque m augmente, le M_{MR} croît, donc le M_{PRM} également (à Z_p constante).
- l'altitude-pression : à masse constante, lorsque Z_p augmente, le M_{MR} croît, donc le M_{PRM} croît.
- le coût carburant : à K fixé lorsque C_f augmente, le M_{PRM} tend vers le M_{MR} . et à C_f fixé lorsque K augmente le M_{PRM} Augmente.

D. Mach constant :

Une croissance peut se faire également à Mach constant

Avantage :

- Facilité du suivi du paramètre vitesse.

Inconvénient :

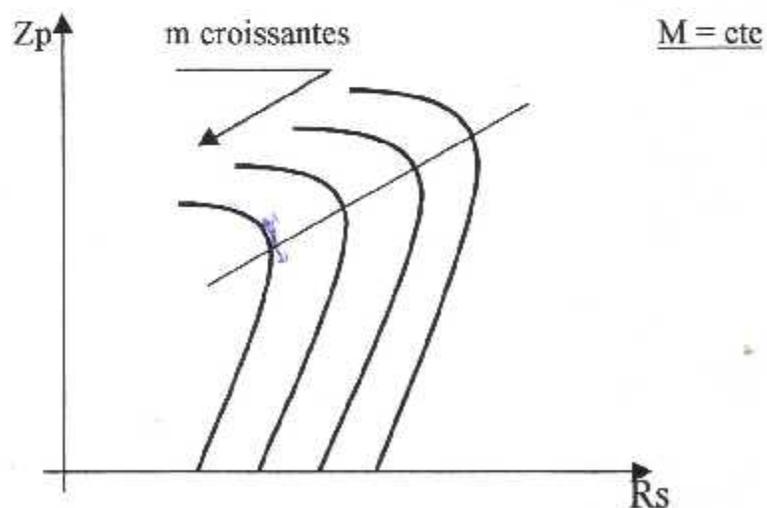
- Si le vol ce fait à $Z_p = \text{cte}$ on s'éloigne toujours des conditions optimales.

Remarque :

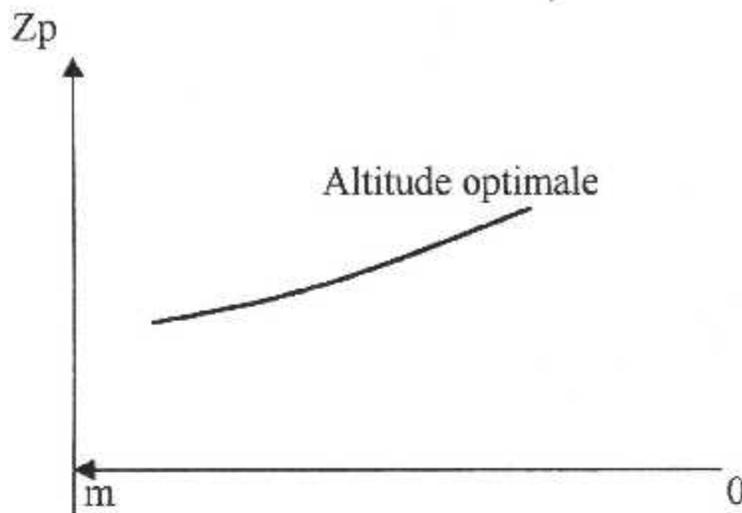
Ce régime est très rarement utilisé.

III.3.2 Altitude optimale :

La variation de $Z_p = f(R_s)$ avec $M = \text{constant}$.



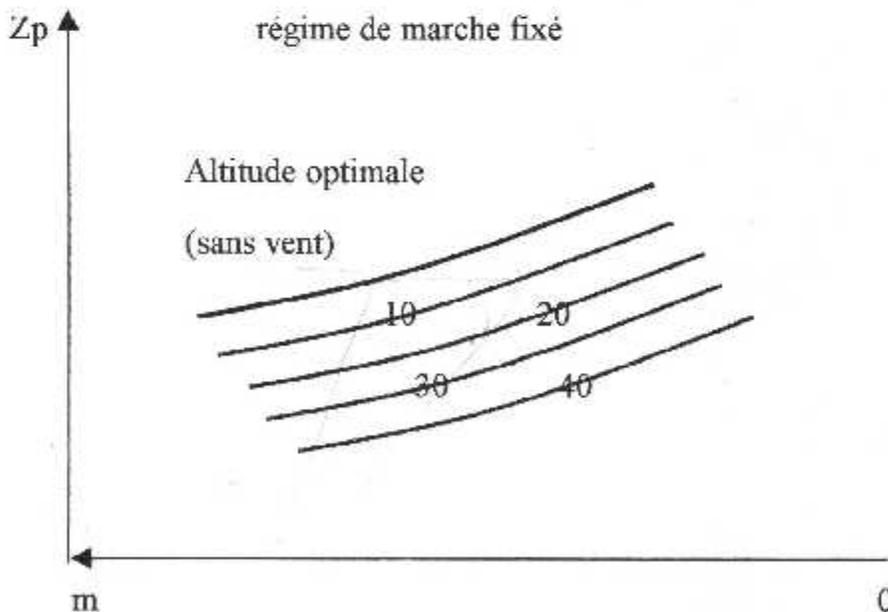
Soit une courbe de variation d'altitude optimale en fonction de la masse .



- **Effet du vent :**

Pour toute altitude inférieure à l'altitude optimale ,le rayon d'action spécifique diminue.

Par contre, si le vent devient plus favorable, le rayon d'action spécifique sol va s'améliorer, ce qui fait que suivant l'écart de vent entre les deux altitudes le rayon d'action spécifique sol à l'altitude inférieure peut dépasser celui de l'altitude optimale.



les courbes en bleu sont la variation de l'altitude optimale en fonction de l'écart favorable de vent effectif.

III.4 L'attente:

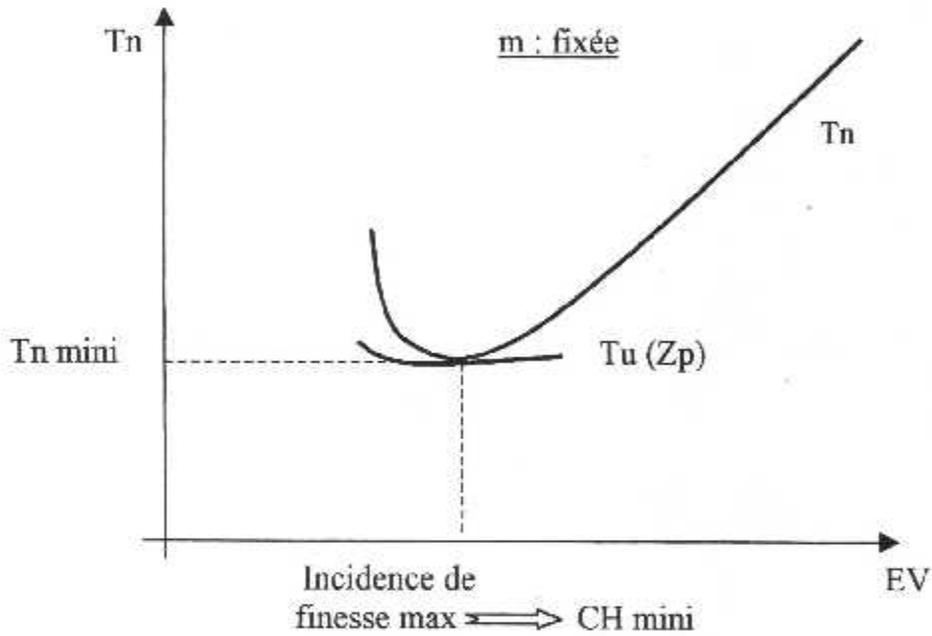
A. Choix de la vitesse d'attente :

Il s'agit dans ce cas de minimiser la consommation horaire CH, or :

$$CH = C_{sp} \times T_u \quad \text{avec en palier } T_u = T_n$$

D'où $CH = C_{sp} \times T_n$

Par conséquent, il faudra minimiser T_n , c'est-à-dire voler à l'incidence de finesse MAX.



vitesse d'attente \rightleftharpoons vitesse à incidence de finesse max.

B. Altitude optimale d'attente :

Nous avons vu que pour minimiser la consommation horaire il fallait voler à une incidence telle que T_n soit minimum.

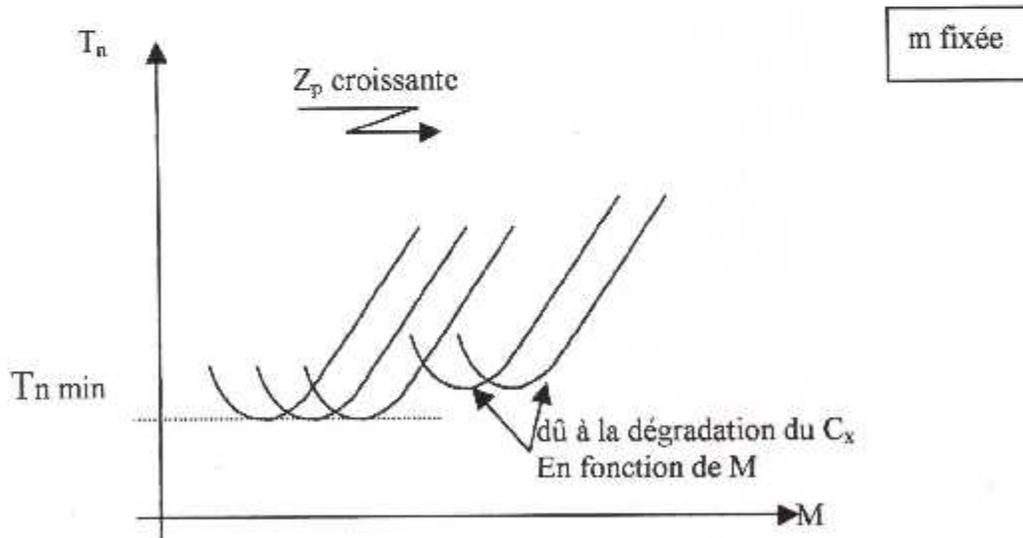
Sur la polaire basse vitesse, ceci correspond à l'incidence de f_{MAX} .

Compte tenu de l'équation de sustentation :

$$mg = \frac{\gamma}{2} S P_s C_z M^2$$

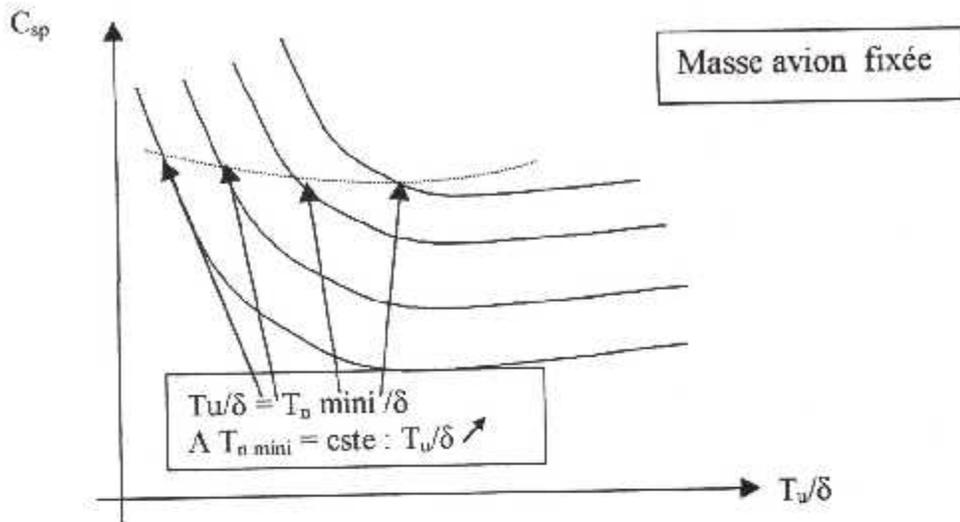
à $m = \text{cte}$
incidence constante } Lorsque Z_p augmente $\Rightarrow P_s$ diminue
 \Rightarrow Mach de Vol augmente

Or comment varie $T_{n \text{ mini}}$ en fonction de M et de l'altitude pression ?



Lorsque l'altitude pression augmente : $T_{n \text{ mini}}$ reste constante puis augmente.

- Variation de C_{sp} en fonction de Z_p :

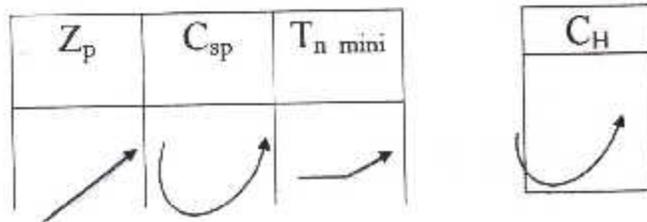


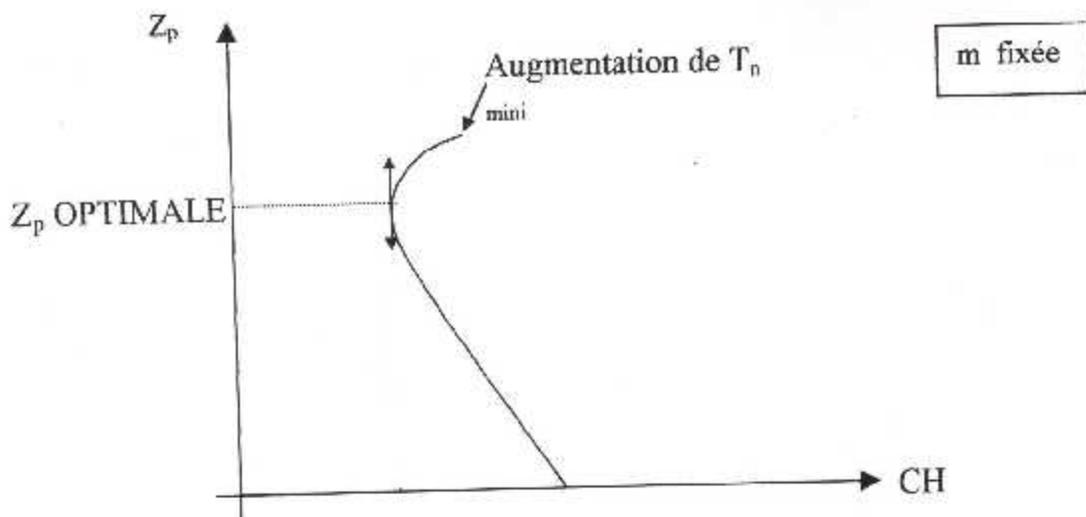
Nous avons vu que T_n restait constante puis augmentait.

Donc lorsque Z_p augmente, $\delta = \frac{P}{\rho_0}$ diminue et $\frac{T_u}{\delta}$ augmente.

Nous avons vu que le Mach d'attente augmentait lorsque Z_p augmentait. Si nous traçons les différentes courbes de C_{sp} comme précédemment, nous constatons que C_{sp} diminue puis réaugmente.

D'où la variation de C_H en fonction de Z_p .





- Influence de la masse sur CH :

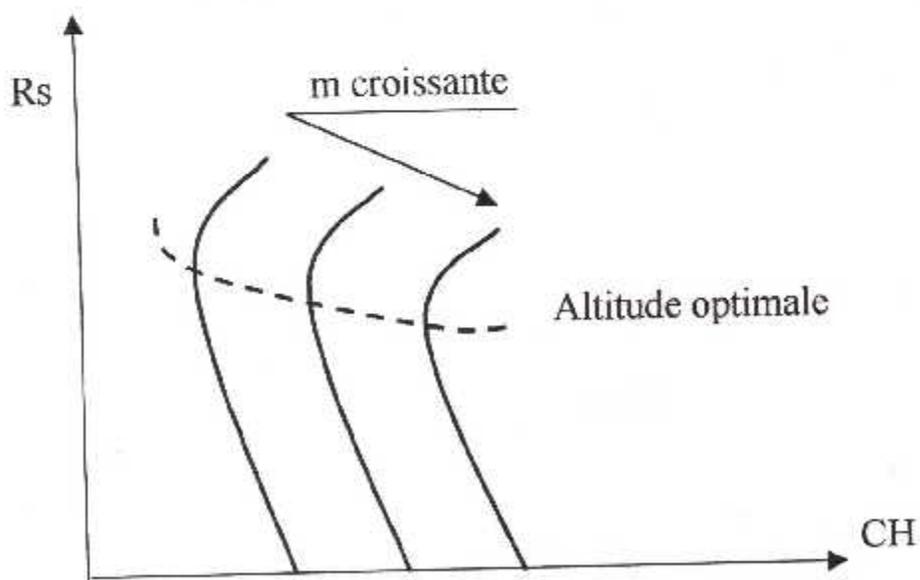
Lorsque m augmente $\Rightarrow T_{n \text{ mini}}$ diminue $\Rightarrow C_H$ augmente.

- Influence de la masse sur L'ALTITUDE OPTIMALE :

$$mg = \frac{\gamma}{2} S P_s C_z M^2$$

Lorsque la masse augmente, à une altitude donnée, le Mach de vol correspondant augmente.

Donc, les phénomènes de compressibilité interviendront à une altitude plus faible et $T_{n \text{ mini}}$ augmentera plus tôt, il en sera de même pour C_{sp} d'où :



CHAPITRE III :

Les coûts d'exploitations.

Introduction :

La réalisation d'un vol économique s'est avéré plus que jamais très importante par le fait d'une concurrence devenant de plus en plus agressive.

Mais le grand problème réside dans une détermination précise des coûts d'exploitation.

I. Définition des coûts d'exploitation:

Se sont toutes les dépenses pour lesquelles on pourra réaliser le vol en toute sécurité. Ces coûts sont divisés en deux catégories :

$$C = C_f \times F + C_h \times T + C_i$$

- C : coût total
- C_f : coût fuel
- F : délestage
- C_h : coût horaire
- T : temps de vol
- C_i : les coûts fixes

- Première catégorie (C_i) :

Elle comprend les coûts fixes qui ne sont pas liés directement à l'utilisation des avions sur une étape mais pour toute la vie de l'avion.

- Deuxième catégorie (C_h, C_f) :

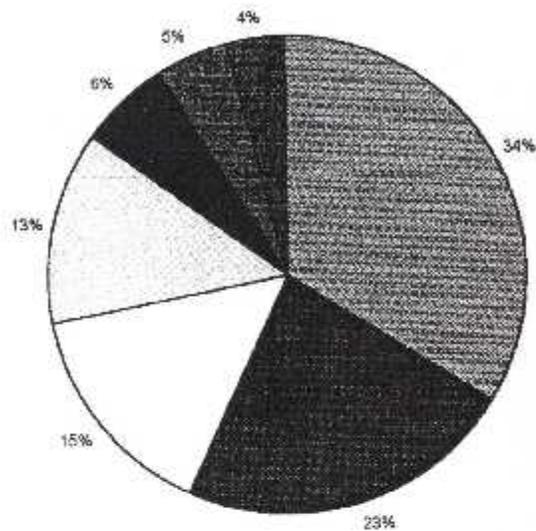
C'est tous les coûts variables qui dépendent de l'exploitation de l'avion sur une ligne bien définie.

Remarque :

Pour les deux catégories, le calcul des coûts liés à chaque poste fait intervenir plusieurs données.

Exemple :

Les coûts d'exploitation de l'A310-300



- 34% Amortissement .
- 23% Carburant.
- 15% Maintenance.
- 13% Personnel navigant.
- 6% Amortissement pièces de rechange réacteur.
- 5% Redevances.
- 4% Amortissement pièces de rechange cellule.

Se sont les dépenses d'exploitation de l'A310-300, et on constate que les coûts variables ont un pourcentage très important (51%).

I.1. L'analyse des termes de la formule :

I.1.1 Les coûts fixes :

Les coûts fixes contiennent les différents points suivants :

A. Amortissement de l'avion :

C'est le coût fixé par la compagnie pour le renouvellement de la flotte. Comme on peut dire, que c'est la valeur du remplacement de l'avion par un autre avion neuf.

B. Les charges financières :

Pour les mêmes principes de l'amortissement, la compagnie fixe ses charges. Ces dernières correspondent à la recette de la compagnie en cas de vente ou remplacement des équipements des avions.

C. Les assurances :

Ces derniers comprennent :

- Assurance responsabilité civile.
- Assurance risque de guerre.
- Assurance corps avion.

I.1.2 Les coûts variables

Ces coûts varient d'une étape à une autre, et dépendent de la ligne et du type d'avion. Les coûts variables sont les suivants :

- coût carburant.
- coût équipages (PNC, PNT).
- coût maintenance.
- les redevances de survol.
- les redevances aéroportuaires.

a. Coût carburant :

Le coût carburant est calculé selon les enlèvements théoriques et en fonction de plusieurs coefficients :

- la charge transportée.
- Les tarifs carburant (tarif départ , tarif destination, escale)

b. Coût équipages (PNC, PNT) :

C'est le salaire dépensé pour le personnel navigant technique (PNT) et commercial (PNC), et il fait intervenir plusieurs variables comme :

- la rémunération du personnel navigant (PNT,PNC).
- les heures de vol.
- selon le type d'avion utilisé (B767,B737,A310).
- la nature de vol (domestique, international).

c. Coût maintenance :

C'est toutes les dépenses de la maintenance et de l'entretien des avions.

Ce coût contient les différentes dépenses suivantes :

- coût entretien structure.
- coût main d'œuvre structure.
- coût entretien réacteur.
- coût main d'œuvre réacteur.

d. Coût assistance :

Ces frais sont toujours négociables. Pour le cas de la compagnie **AIR ALGERIE**, l'assistance est assurée par des services internes pour les bases internes et la sous-traitance avec les compagnies étrangères pour les destinations internationales (PARIS, ROME...)

les coûts rentrant dans ce dernier sont :

- le conditionnement de l'avion
- nettoyage de l'avion
- le petit entretien
- le traitement des passagers

e. Les redevances de survol :

Ces les frais liés à l'exploitation de l'avion due aux survols des différentes FIR du réseau d'Air Algérie.

Elles sont calculées sur la base des tarifs publiée par les services du contrôle de la navigation aérienne.

Ces coûts sont calculés suivants les paramètres:

- la masse de l'avion au décollage (MTOW)
- la distance (longueur de l'étape)
- le taux unitaire.

f. Les redevances aéroportuaires :

Ce sont les frais perçus par les autorités aéroportuaires de chaque Etat, et payées pour chaque atterrissage .

Elles sont calculées à l'aide de :

- la masse décollage de l'avion (MTOW)
- le coefficient qui tient compte des nuisances sonores.
(normes bruits)

Cette tranche de redevances contient :

- redevance de service passager.
- redevance de sûreté.
- redevance liée aux bruits.
- redevance de stationnement.
- redevance des services terminaux de la navigation aérienne.

f.1 Redevance de service passager :

Elle est habituellement perçue en rémunération des services fournis au départ des passagers. Mais certains aéroports l'applique aux passagers à l'arrivée.

f.2 Redevances de sûreté :

L'OACI recommande que ces redevances soient fondées sur :

- le nombre de passager
- la masse avion (MTOW)
- la distance.

f.3 Redevance liée au bruit :

C'est les dépenses qui couvrent les problèmes de bruit, en matière d'atténuation ou de prévention de bruit.

Elles doivent être associées à la redevance d'atterrissage pour tenir compte des dispositions de l'annexe 16 de la convention de Chicago.

f.4 Redevance de stationnement :

Elle prend en considération : la masse maximale au décollage ou les dimension de l'avion et la durée de stationnement.

L'OACI a fixé une franchise (durée de stationnement gratuit immédiatement après l'atterrissage).

f.5 redevance des services terminaux de la navigation aérienne :

Elle est fréquemment fixée et encaissée par un organisme indépendant des gestionnaires d'aéroports.

II. les coûts d'exploitation liés aux opérations :

Les études ayant pour objet de minimiser le coût de l'étape ne considère que les dépenses qui peuvent être influencées par ces derniers.

Toute dépense non liée directement à l'heure de vol ou à la consommation doit être ignoré.

Les dépenses fictives sont :

- Coût Carburant.
- Coût PN.
- Coût maintenance.

La formule sera la suivante :

$$C = CF \times F + Ch \times T$$

Remarque :

En cas de location de l'avion il faut considérer le coût de celui-ci.

CHAPITRE IV :

Le FMC et le Cost Index.

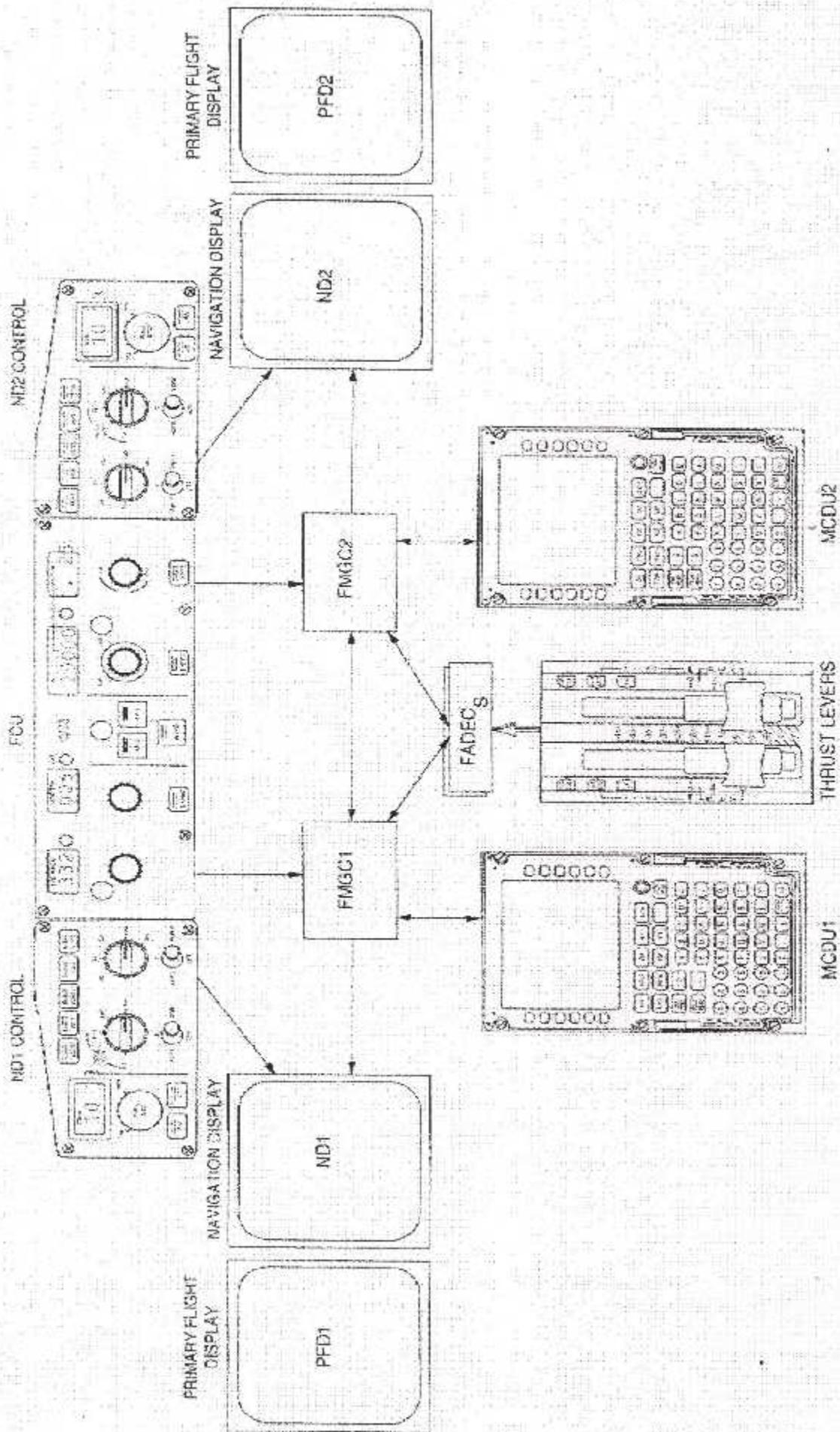
Les impératifs économiques liés à l'exploitation du transport aérien ont conduit les compagnies aériennes à se soucier constamment de la rentabilité dans l'exploitation de leurs avions, et la recherche de la diminution des coûts (carburant, temps de vol).

Si les premiers développements de l'avionique (fin des années 70) ont concerné les aides au pilotage (directeur de vol, protections automatiques, pilote automatique...), dans le but d'accroître la sécurité et la régularité dans le service offert aux passagers. Très vite cette technologie a été appliquée à la résolution des problèmes liés à la gestion du vol.

Les premiers systèmes de gestion de vol (Flight Management System) ont été certifiés (1984) sur Boeing (B747 /757/ 767) et sur Airbus (A310).

Voir figure (1) : FMS A310.

Architecture du FMS de l'A310.



I. Le FMS (Flight Management System) :

1. La constitution du système FMS :

Ce système est amené à dialogué avec la plupart des systèmes embarqués (suivant les avions, calculateurs de pilotage automatique, calculateur de poussée, centrales inertielles, systèmes de radiocommunication et radionavigation...), et avec l'équipage pour qu'il se tourne le principal outil de travail. (annexe.3.)

Le FMS est constitué autour d'un calculateur de gestion du vol (FMC), en interaction avec :

- Une base de données (interne au calculateur).
- L'équipage via boîtier de commande et d'affichage (CDU), l'écran de navigation (ND) et l'écran de pilotage (PFD).
- Les systèmes d'aide à la localisation (IRS, VOR, DME, ILS, GPS...).
- Les mesures de consommation de carburant des moteurs.
- Les calculateurs de pilotage automatique, de poussée...

2. Les fonctions réalisées par les FMS :

Les fonctions réalisées par FMS sont :

- La gestion du vol.
- Le séquençement du plan de vol.
- L'élaboration des prévisions et l'optimisation des performances.
- L'initialisation (alignement initial au sol) des centrales inertielles.
- La sélection autour des moyens RNAV.
- L'émission des informations pour l'équipage (EFIS et écran CDU).
- L'émission d'ordres de pilotage et guidage vers le pilote automatique directeur de vol.

Mais les principales fonctions sont :

- La minimisation des coûts d'exploitation.
- La diminution de la charge de travail de l'équipage.

3. Le FMC et le Cost Index :

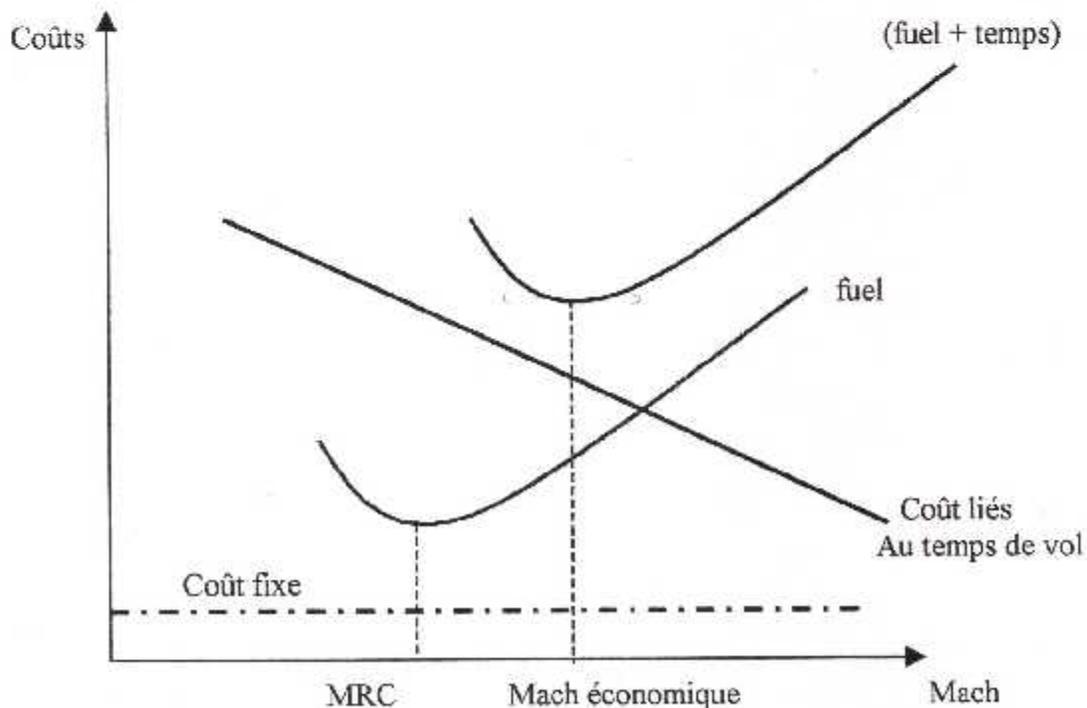
L'installation du FMC sur les avions, à permis aux compagnies aériennes de bénéficier d'un avantage opérationnel, tels que la gestion automatique du vol, à l'aide des paramètres de vol et la base de donnée intégrée dans le FMC (temps de vol, fuel, vitesse, Cap, route aérienne...).

Mais le plus important était que le FMC est un moyen de faire des économies, cette dernière est obtenue par le contrôle de la vitesse en optimisant le temps de vol et la consommation carburant, en utilisant le **Cost Index**, paramètre permettant d'introduire dans le calculateur FMC les informations liées aux coûts d'exploitations. Ce dernier donnera des vitesses économiques pour l'avion. (voir figure-2-)

II. Optimisation du profil de vol par le FMC à partir du Cost Index :

Après avoir injecté les données nécessaires dans le FMC à travers le CDU, ou celle qui sont déjà dans la base de données, le FMS optimisera le profil de vol.

a. Vitesse économique (ECON SPEED) :



Control Display Unit :

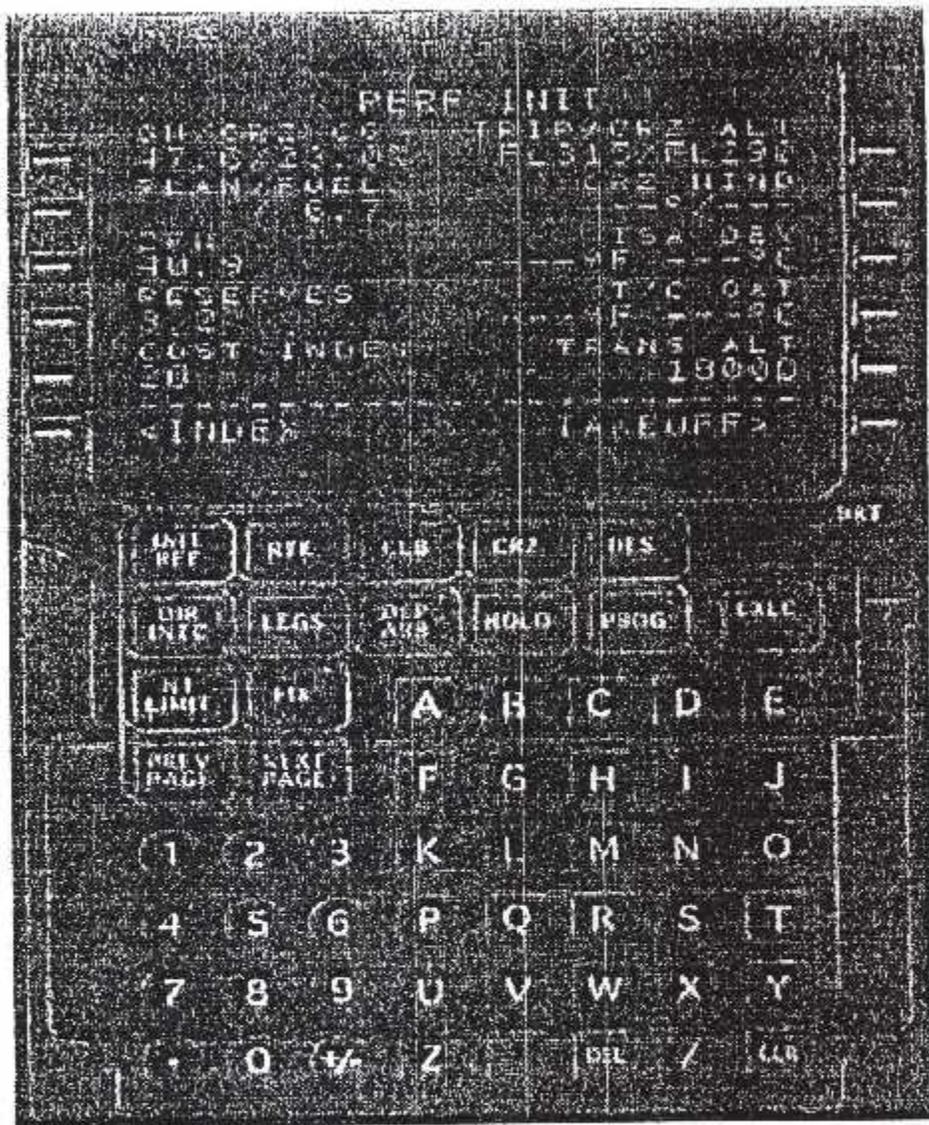


Figure 2.

Remarque :

On remarque que les coûts d'exploitation dépendent des paramètres opérationnels, le temps de vol et la consommation carburant. Ces derniers dépendent du choix de la vitesse de croisière, montée ou descente.

Le but recherché est de faire un choix judicieux des paramètres de vol pour obtenir la vitesse économique (ECON SPEED).

II.1- La croisière :

C'est la phase de vol la plus importante, qui a la plus grande influence sur la minimisation des coûts d'exploitation, où il faut que l'aéronef vole à une vitesse économique et à une altitude optimale pour minimiser les coûts d'exploitations.

Soit l'exemple suivant, donnant les coûts des différentes croisières à nombre de Mach différent :

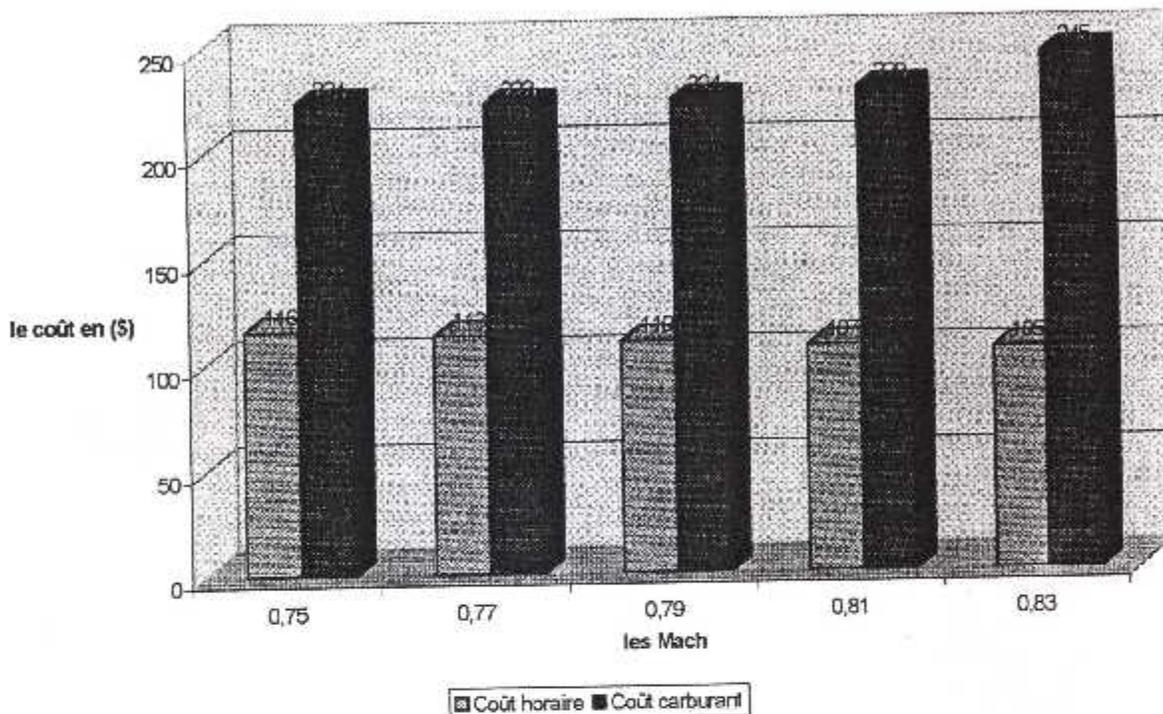
On a :

- Un segment de croisière de 100 NM.
- Un B767-200 à 35.000 ft d'altitude.
- Masse = 310.000 pounds.
- Coûts des heures de vols à 500 \$/h.
- Coûts carburant à 10 \$/lb.

Mach	0.75	0.77	0.79	0.81	0.83
Temps (h)	0.231	0.225	0.220	0.214	0.209
Carburant (lb)	2242	2230	2235	2294	2451
Coûts horaire	116	113	110	107	105
Coûts carburant	224	223	224	229	245
TOTAL =	\$ 340	\$ 336	\$ 334	\$ 336	\$ 350

TOTAL =	\$340	\$336	\$334	\$336	\$350
---------	-------	-------	-------	-------	-------

Les coûts d'exploitation des différentes croisières



II.1.1 Le Mach économique de croisière et le FMC :

A. Etude du Cost Index comme fonction du rayon D'action spécifique et du nombre de Mach :

On la formule des coûts d'exploitation :

$$C = Ch \cdot T + Cf \cdot F$$

Par unité de distance :

$$\frac{C}{NM} = \frac{Ch \cdot T}{NM} + \frac{Cf \cdot F}{NM}$$

Mais :

$$\frac{T}{NM} = \frac{\text{heure}}{NM} = \frac{1}{Vp}$$

$$\frac{F}{NM} = \frac{\text{kg}}{NM} = \frac{1}{Rs}$$

Donc :

$$\frac{C}{NM} = \frac{Ch}{a \cdot M} + \frac{Cf}{Rs} \dots\dots(1)$$

Et on auras :

$$Rs = \frac{a_o \cdot M \cdot f}{\frac{C_{sp} \cdot mg}{\sqrt{T/T_o}}}$$

Le nombre de Mach économique (vitesse économique (ECON SPEED)) est celui qui minimisera les coûts d'exploitation, donc il est la solution de l'équation :

$$\frac{dC}{dM} = 0$$

De la formule (1) on aura :

$$\frac{dC}{dM} = Ch \cdot \left(\frac{1}{a \cdot M^2 eco} \right) + Cf \cdot \left(\frac{-1}{Rs^2} \right) \cdot \frac{dRs}{dM}$$

$$\frac{dC}{dM} = 0$$

Ce qui donne :

$$\frac{Ch}{Cf} = CI = \frac{a \cdot M^2 eco}{Rs^2} \cdot \left(\frac{-dRs}{dM} \right)$$

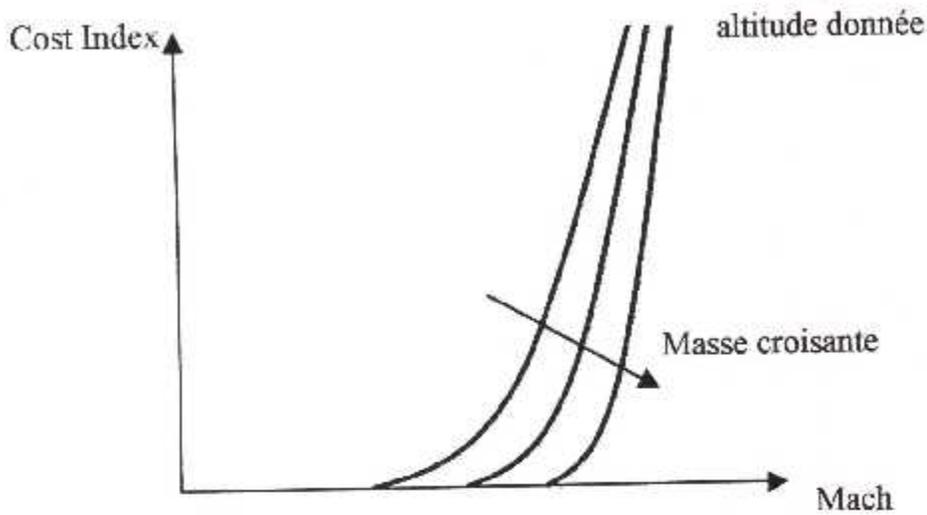
Mais :

$$a = a_o \sqrt{T/T_o} = a_o \sqrt{\theta amb}$$

Donc :

$$CI = \frac{Ch}{Cf} = \left[\frac{a_o \sqrt{\theta amb}}{Rs^2} \cdot M^2 eco \right] \cdot \left(\frac{-dRs}{dM} \right)$$

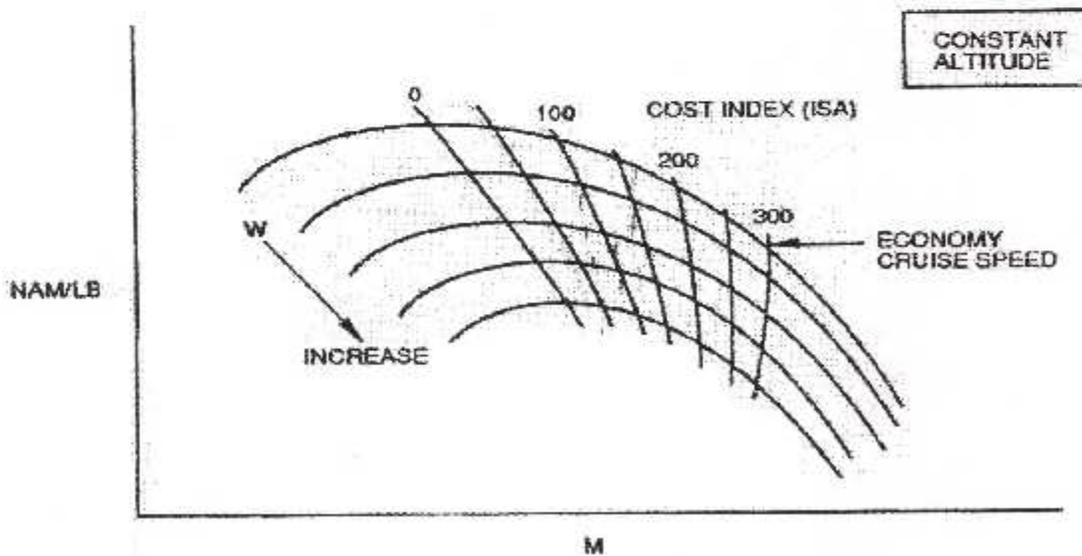
Cette formule donne les courbes qui sont illustrées dans le graphe ci-dessous :



Remarque :

Pour un Cost Index et une altitude données, si la masse de l'avion augmente le R_s diminue, ce qui fera augmenter le Mach économique.

- $CI = f(R_s, M)$



B. Détermination du Mach économique par le FMC :

l'introduction du Cost Index dans le FMC par le pilote donnera le nombre de Mach économique de la croisière (ECON SPEED), donc minimiser les coûts d'exploitations de la croisière.

Le calcul du Mach économique est obtenue par la fonction ECCF (Economy Cruise Cost Function).

1. Définition du ECCF : (Economy Cruise Cost Function)

Les coûts de la croisière (C) sont donnés par la formule :

$$C = C_f \cdot F + C_h \cdot T$$

Mais :

$$CI = \frac{C_h}{C_f} \Rightarrow C_h = C_f \cdot CI \dots \dots \dots (1)$$

Donc on aura :

$$C = C_f \cdot F + C_f \cdot CI \cdot T$$

Et par unité de distance (NM) :

$$\frac{C}{NM} = \frac{C_f \cdot F}{NM} + \frac{CI \cdot C_f \cdot T}{NM} \dots \dots \dots (2)$$

Mais :

$$\frac{T}{NM} = \frac{1}{V_p} \qquad \frac{f}{NM} = \frac{W_f}{V_s}$$

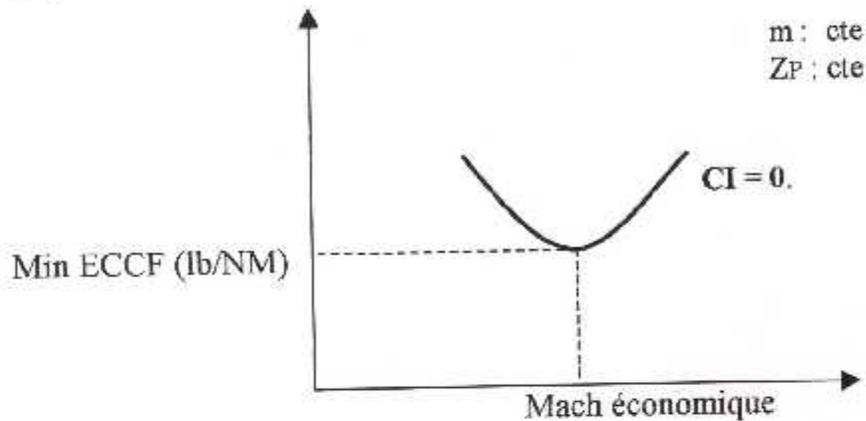
Donc la fonction (2) devient :

$$\frac{C}{NM} = C_f \cdot \left(\frac{100CI}{VS} + \frac{W_f}{Vs} \right)$$

La formule ECCF sera de la forme :

$$ECCF = \frac{C}{CF \cdot NM} = \frac{100CI + Wf}{Vs}$$

Et on aura le graphe suivant :



D'après le graphe, le nombre de Mach économique de croisière correspond à la valeur minimale de ECCF, c'est à dire :

$$\frac{dECCF}{dM} = 0$$

2. Analyse de l'équation de l'ECCF :

$$ECCF = \frac{C}{CF \cdot NM} = \frac{100CI + Wf}{Vs}$$

- On voit bien que la consommation horaire **Wf** (fuel flow), et l'expression **100 CI**, ont la même dimension **Lb/h** (pounds/heures). On peut dire que le numérateur est la somme du fuel flow des moteurs (**Wf**), qui est lié au coût carburant, et du fuel flow **100 CI** qui est lié au coût du temps de vol.

➤ On voit aussi qu'il y a une relation entre le nombre de Mach économique et le Cost Index :

1. Si CI = 0 :

$$ECCF = \frac{Wf}{V_s} - \frac{1}{R_s} = CD$$

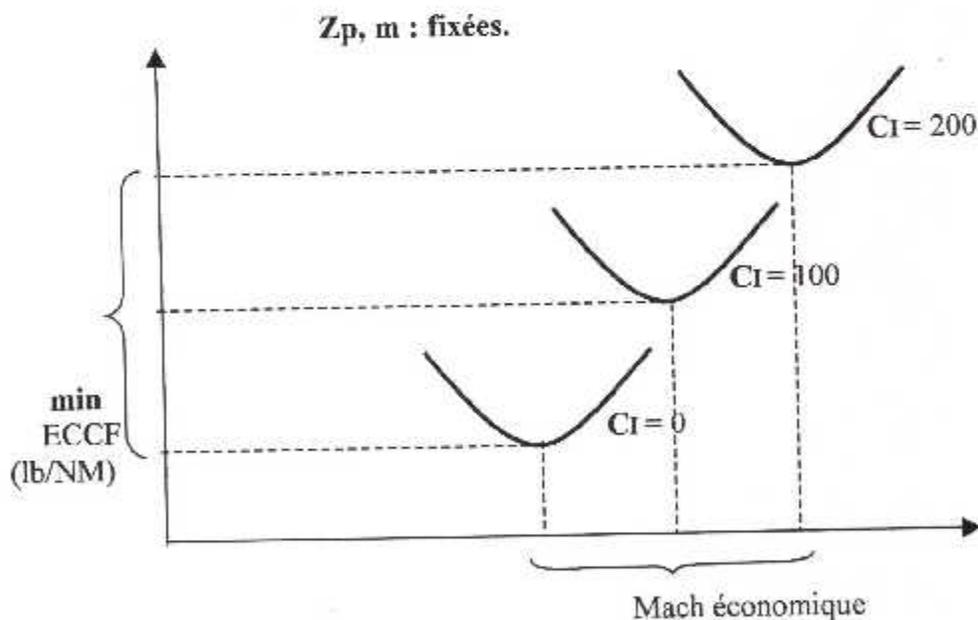
Donc :

$$\frac{dECCF}{dM} = \frac{dCD}{dM}$$

: Qui correspondra à la valeur du Mach maxi Range.

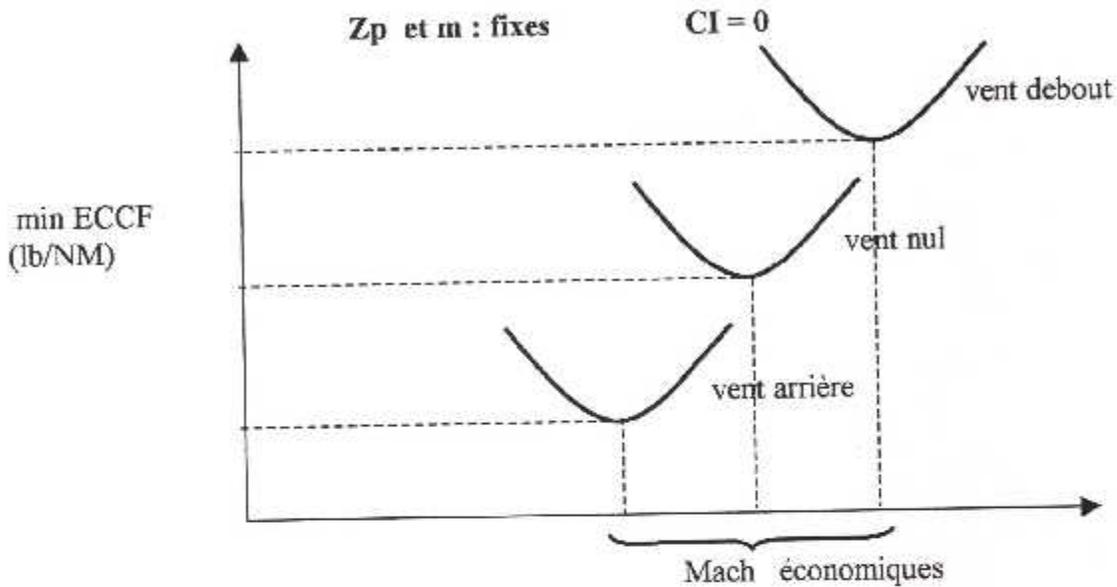
2. Si CI ≠ 0 :

Avec un $CI \neq 0$, contribuera à l'augmentation de la fonction $ECCF = f(M, CI)$, et déplacera la courbe de l'ECCF vers la droite, qui engendra une augmentation du Mach économique de la croisière, où on le voit bien dans le graphe ci-dessous :



C. L'effet du vent sur l'ECCF :

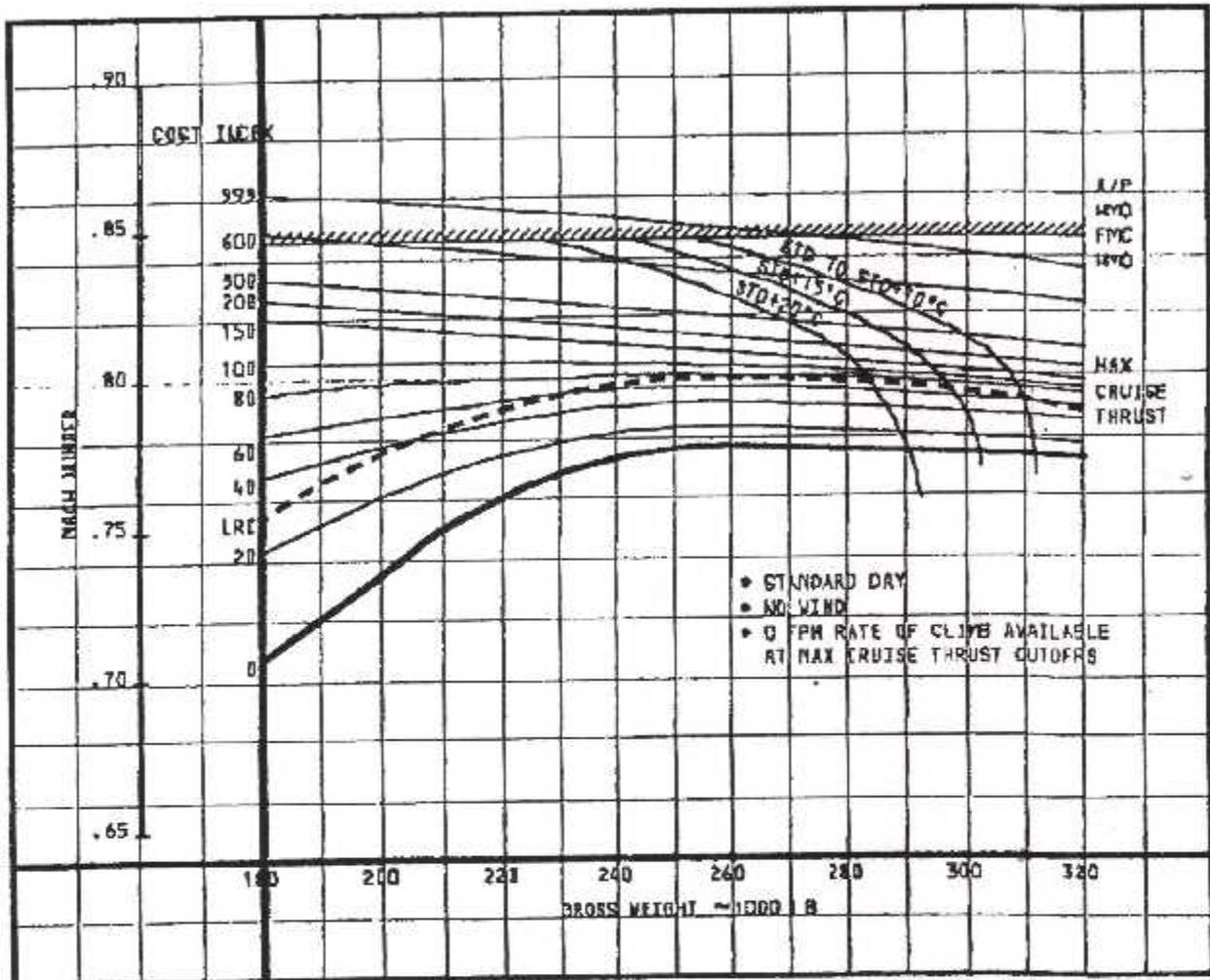
La vitesse économique de croisière est fonction du vent : $V_s = a \cdot M + V_e$.
La valeur de la fonction ECCF augmentera pour un vent debout, qui diminuera V_s , et diminuera ECCF pour un vent arrière, qui augmentera V_s . On le voit bien dans le graphe ci-dessous :



Remarque :

Boeing a pu développer des abaques pour ses avions, pour déterminer le nombre de Mach économique de croisière. (graphe-1-)

Abaque pour déterminer la vitesse économique de croisière



Graphe 1

D. Altitude déterminée par le FMC à partir du CI :

L'altitude optimale est en fonction de la masse totale de l'aéronef, le vent de croisière et le Cost Index. Le FMC calculera l'altitude de croisière qui permettra de faire le compromis entre le temps de vol et la consommation carburant, donc celle qui minimisera le coût direct d'exploitation.

Soient deux cas extrêmes qui montrent l'effet de la valeur du Cost Index sur l'altitude optimale :

- **CI = 0** : le coût horaire n'est pas primordial. L'altitude optimale correspondra à l'altitude de rayon d'action spécifique maximal.
- **CI ≠ 0** : le coût horaire est primordial, on préférera consommer plus pour réduire l'effet de ce dernier sur le coût d'exploitation. L'altitude qui réalisera cela sera l'altitude optimale. Cette dernière sera inférieure à celle où le CI = 0.

Remarques :

1. Le vent de face commande de basses altitudes optimales. Ce vent diminue la V_s , donc augmentera le temps de vol, ce qui entraînera une consommation supplémentaire (correspond à une altitude basse).

Un vent arrière augmente la V_s , le temps de vol sera réduit, ce qui entraînera une consommation moindre et correspondra à une altitude supérieure.

2. Des contraintes existent comme celle de l'ATC et les méthodes de pilotage. Pour définir une altitude optimale qui est fonction de l'écoulement du temps de vol, donc de la diminution de la masse totale, le pilote doit agir sur le badin pour déterminer une poussée qui correspond à l'altitude optimale.

Pour cela, on déterminera une altitude qui sera fixe tout le long du vol. Cependant, si les conditions le permettent, un changement d'altitude sera effectué avec une consommation supplémentaire due à la montée (changement de niveau de vol) et à la descente finale.

II.2 Montée :

a. Détermination de la vitesse économique de montée par le FMC :

Le FMC choisira une trajectoire économique qui minimisera les coûts d'exploitations, donc il détermine une vitesse de montée CAS qui correspond à la trajectoire de montée économique.

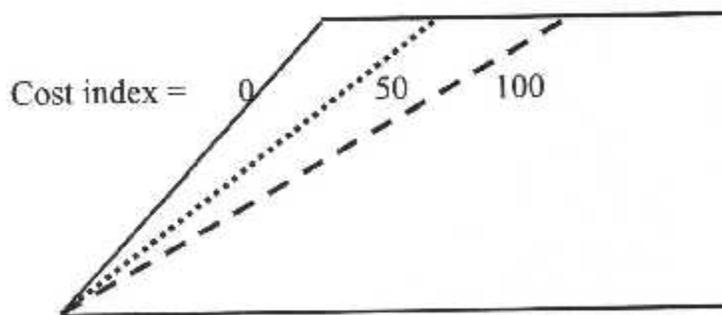
La CAS qui réalisera une montée PRM sera la CAS économique, elle sera fonction de deux variables, le CI et la masse initiale. Elle est illustrée dans le graphe -2 - :

b. Analyse :

- $CI = 0$: La vitesse CAS est proche de la vitesse de montée et de la pente maximale, ceci diminue le temps de la montée.
- $CI \neq 0$: Pour un cost index qui augmente il est nécessaire d'augmenter la vitesse de montée pour diminuer les coûts horaires.

Remarque :

La trajectoire économique de montée est à pente rapide pour un cost index faible, et elle est à pente faible pour une grande valeur du cost index .



Variation de la trajectoire suivant le cost index

CAS (Knots)

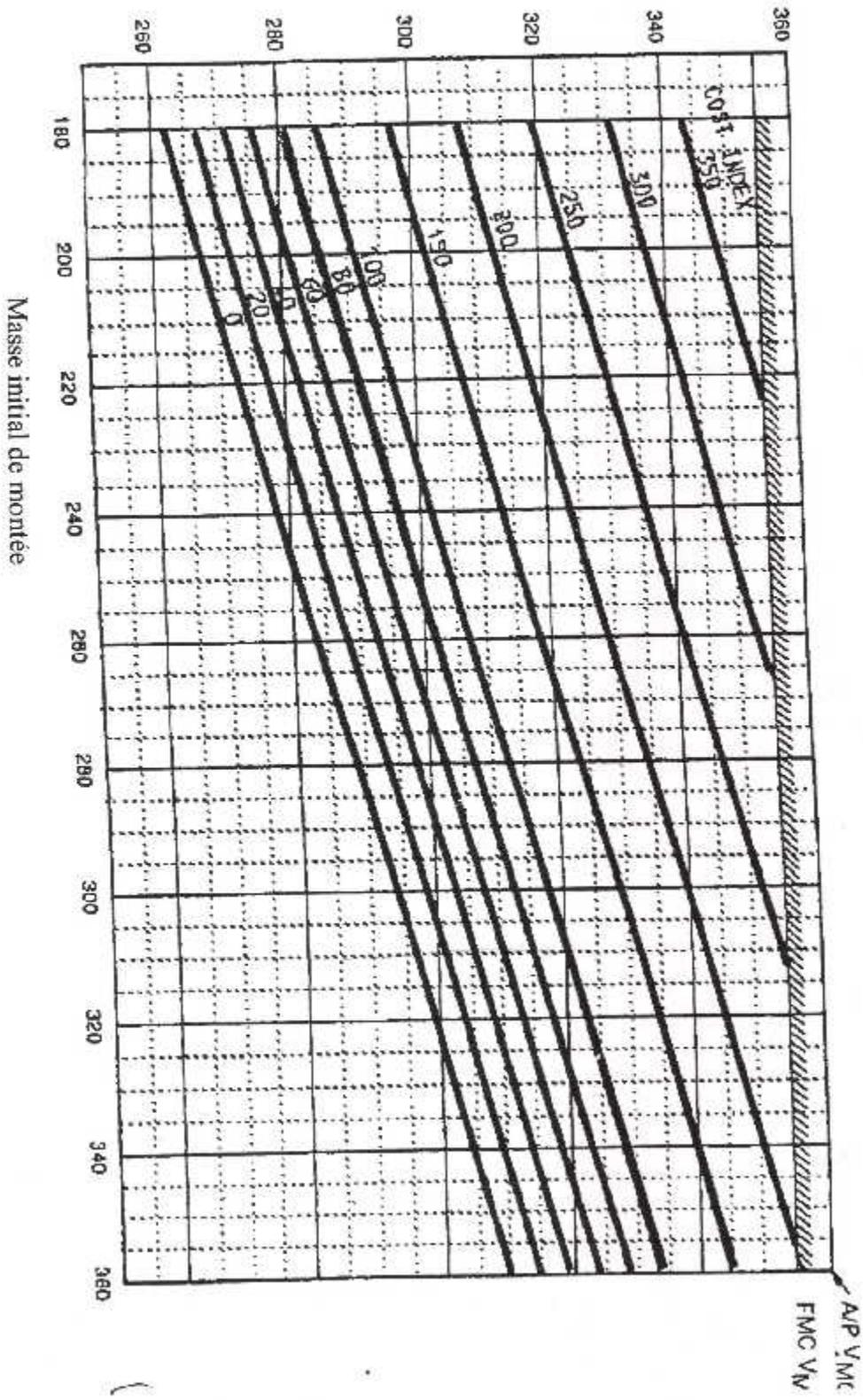


Figure 2

Abaque pour déterminer la vitesse de montée CAS

II.3 Descente :

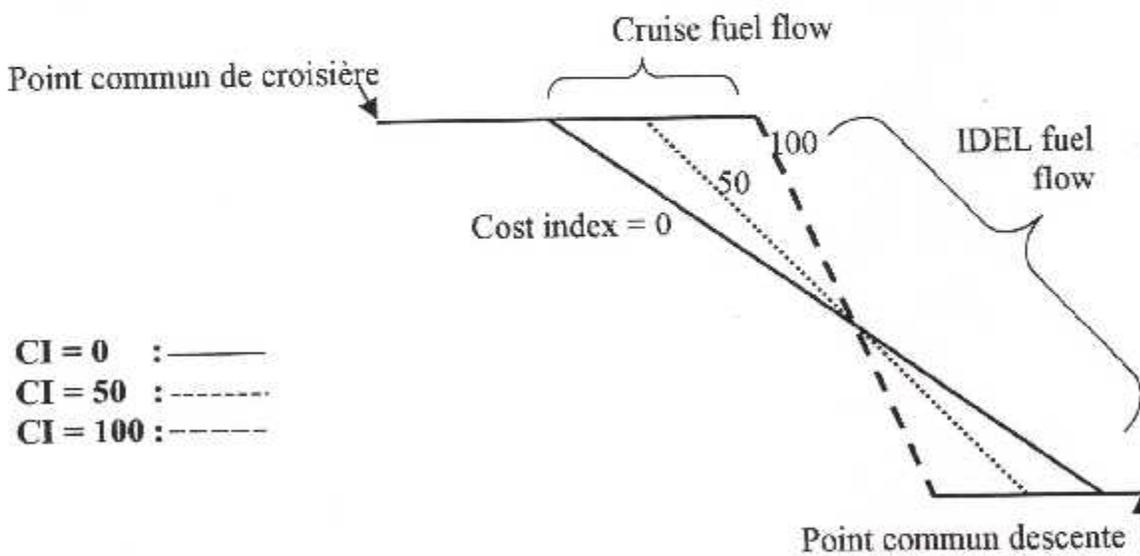
a. Détermination de la vitesse économique de descente par le FMC :

Le FMC choisira une trajectoire économique qui minimisera les coûts d'exploitations, donc il déterminera une vitesse de descente CAS, qui correspond à la trajectoire PRM.

La CAS qui réalisera une descente PRM sera la CAS économique, elle sera fonction de deux variables, le CI et la masse. (voir graphe -3 -)

Remarque :

La trajectoire économique de descente est à pente faible pour un cost index faible, et elle est à pente rapide pour une grande valeur du cost index.



Variation de la trajectoire suivant le Cost Index

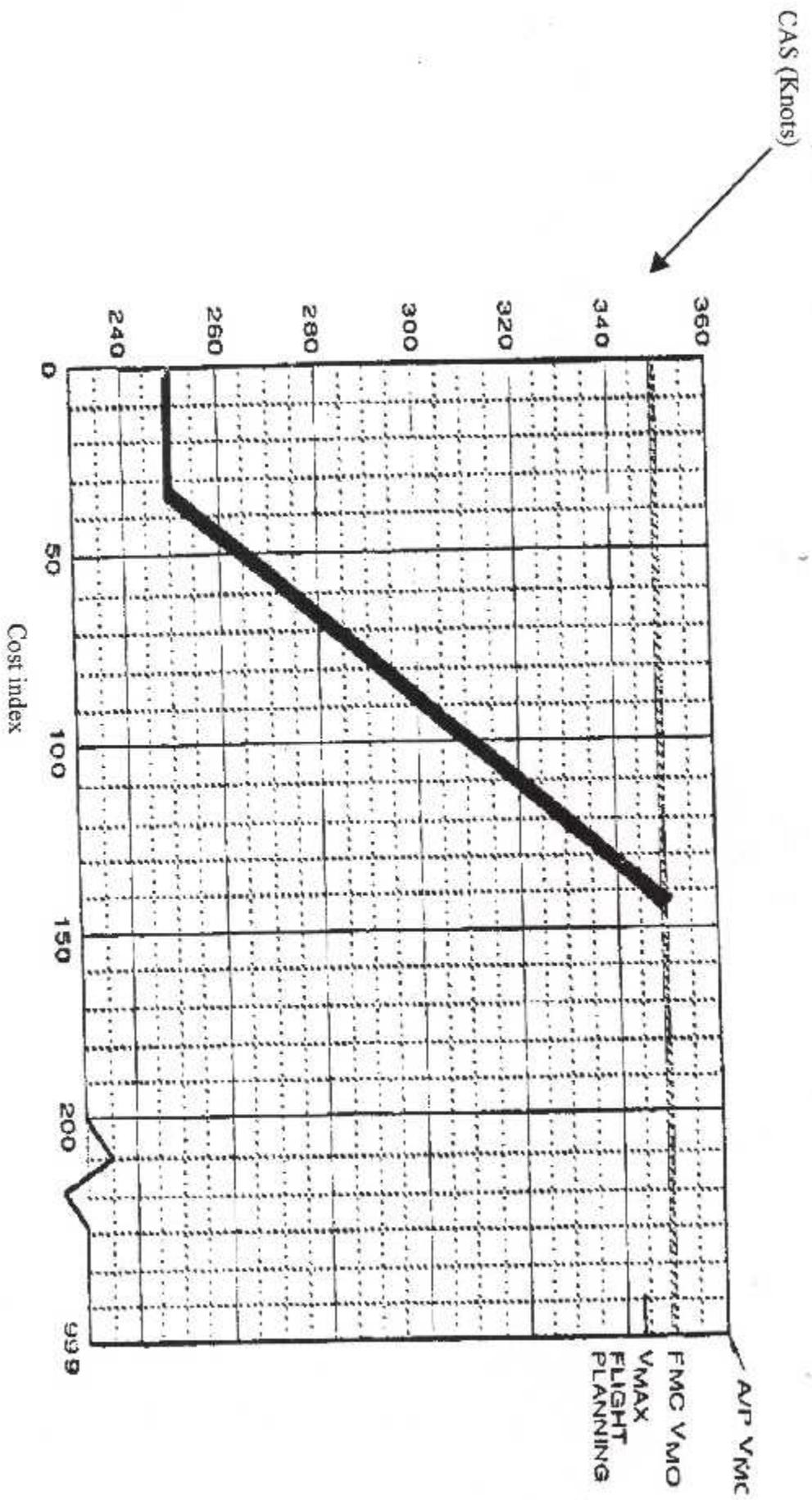
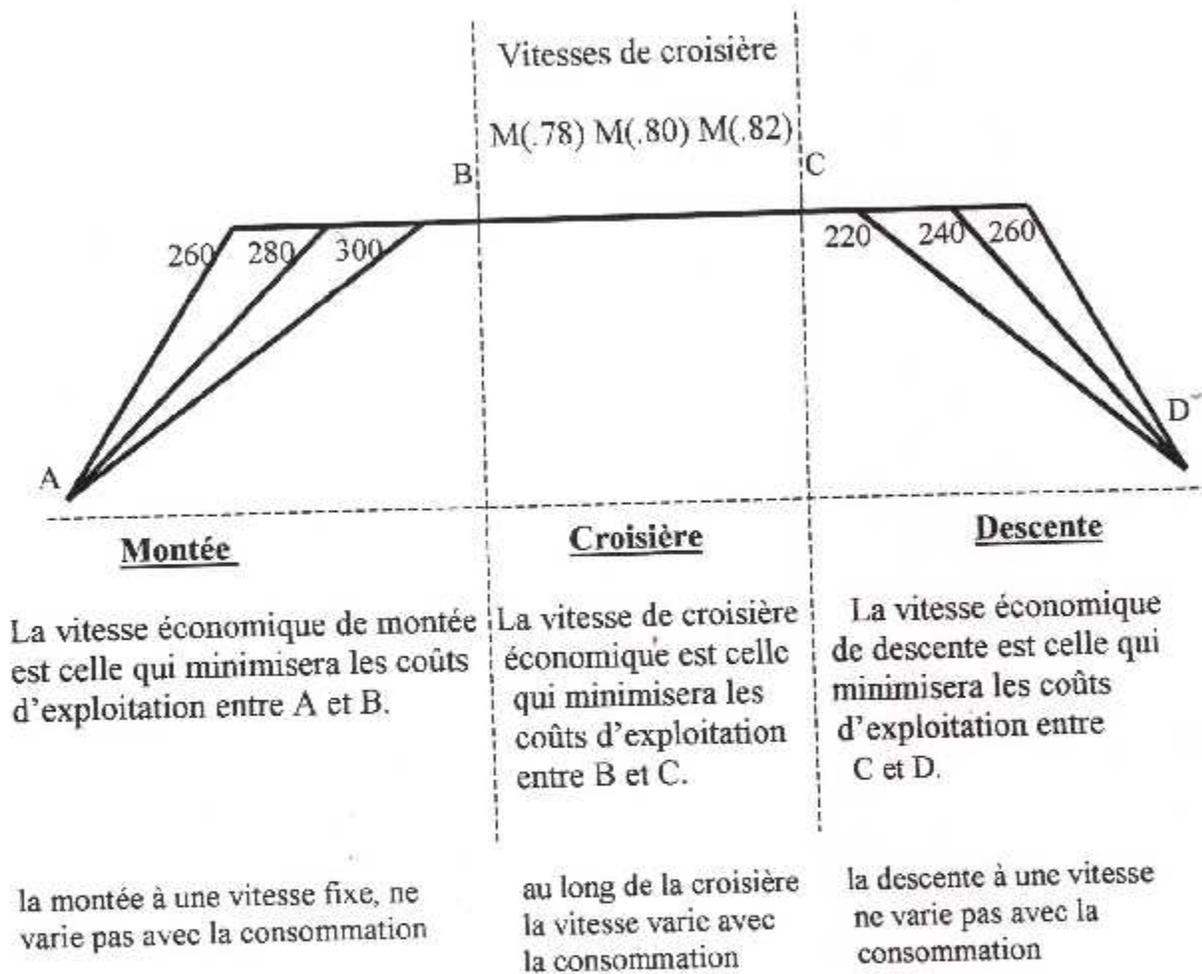


Figure 3

Abaque pour déterminer la vitesse de descente CAS

III. Résumé :

Voilà un exemple illustrant le choix du profil de vol par le FMC à partir de la valeur du cost index.



IV. Effet du Cost Index sur les coûts d'exploitations :

Pour bien voir l'effet du Cost Index sur les coûts d'exploitations, nous allons prendre l'étude des différentes valeurs du Cost Index sur les coûts d'exploitations réalisés par Boeing pour le B767-200.

Soient les données suivantes :

- L'avion : B767-200.
- Segment croisière de 750 NM.
- Altitude : 34 000 ft (Altitude optimale pour un CI = 0).
- Valeur correcte du CI = 40.

1) réaliser un CI = 80.

Altitude (feet)	Cost Index	Coûts fuel +	horaire	=	Total
39 000	40	1543	734		2277
	80	1555	726		2281 (+.2%)
31 000	40	1673	761		2434
	80	1711	732		2443 (+.4%)

2) soit les mêmes conditions, et la valeur de référence du CI = 40 correspondra à un temps de vol de 1 :40 heures.

Altitude (feet)	COST INDEX			
	0	40	80	999
39 000 (opt.)	+1.8	référence	-1.1	-6.1
35 000	+4.0	référence	-1.8	-7.4
31 000	+7.6	référence	-3.8	-12.2

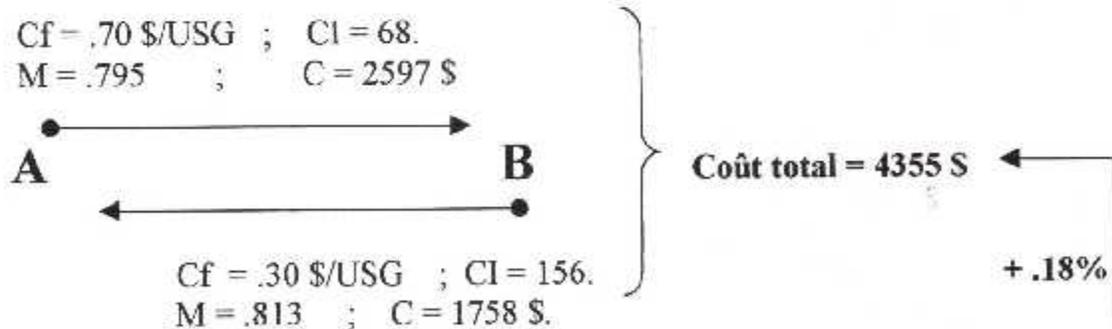
Le nombre obtenu est la différence du temps réalisés.

3) Soient les valeurs du Cost Index : 40, 0 et 999, on obtient les résultats suivants :

Altitude (feet)	Cost Index	Coûts			= Total	
		Fuel	+	Horaire		
39 000	40	1543		734	2277	
	0	1537		747	2284	+3%
	999	1848		689	2537	+11.4%

4) on a les données suivantes :

- B767-200.
- Segment croisière de 750 NM.
- Coût horaire $Ch = 700$ \$/h.
- Coûts carburant à :
 - A = .70 \$/USG. (départ)
 - B = .30 \$/USG. (destination)



En utilisant un CI moyen de 112, on aura : $CI = 112$; $M = .804$; $C = 4363$ \$

On aura une augmentation du coût total de .18%

Remarque :

Dans les 4 exemples précédants on a eu des petites variations qui n'influent pas beaucoup sur une seul étape, mais son influence sera très importante sur une ligne régulière.

Conclusion :

L'optimisation du vol par le FMC sera atteinte grâce à une valeur du Cost Index et un choix judicieux des autres paramètres (Altitude , cheminement du plan de vol...).

CHAPITRE V:

Les méthodes de calcul du
Cost Index.

I. Définition du Cost Index :

Le cost index indique le coût d'une heure de vol en équivalent carburant, donc indique l'importance que la compagnie attribue au coût lié au temps de vol et au coût carburant.

On peut dire que le cost index est le compromis entre le coût horaire et le coût carburant.

La formule de calcul est celle de SPERRY :

$$CI = C_b/C_r \quad (\text{kg/minute}) \text{ ou } (\text{lb/ 100 heure}).$$

- Les valeurs extrêmes du Cost Index :
- entre 0 et 299 pour le B737.
 - entre 0 et 999 pour le B767.
 - entre 0 et 3999 pour le B747.
 - entre 0 et 9999 pour le B777.

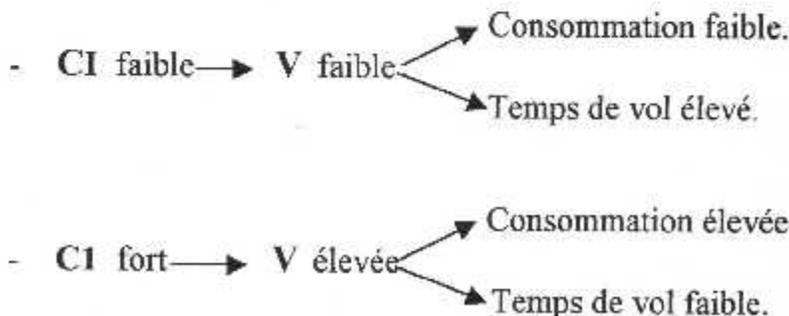
Remarque :

cette différence est due au prix d'achat de l'avion.

• Le choix du cost index :

- Le choix d'un **CI = min**, correspond à un vol à consommation de carburant minimale, car dans ce cas le coût du carburant est pris infiniment plus grand que le coût du temps. il correspond au régime de range.
- Le choix d'un **CI = max**, correspond à un vol en temps minimum (V_{max}), puisque le coût relatif du temps par rapport au coût carburant est max. On dira que « plus le CI est élevé, plus l'avion vole vite ».

On retiendra que :



- Si on choisit le CI tel que : $0 < CI < \max$, on a affaire à un mode dit « économique » propre à la compagnie, et correspond au compromis qu'elle considère entre la durée de vol et la consommation de carburant. C'est ce mode qui est le plus souvent utilisé, les deux autres, n'en étant que des cas particuliers.

II. Les méthodes de calcul du cost index:

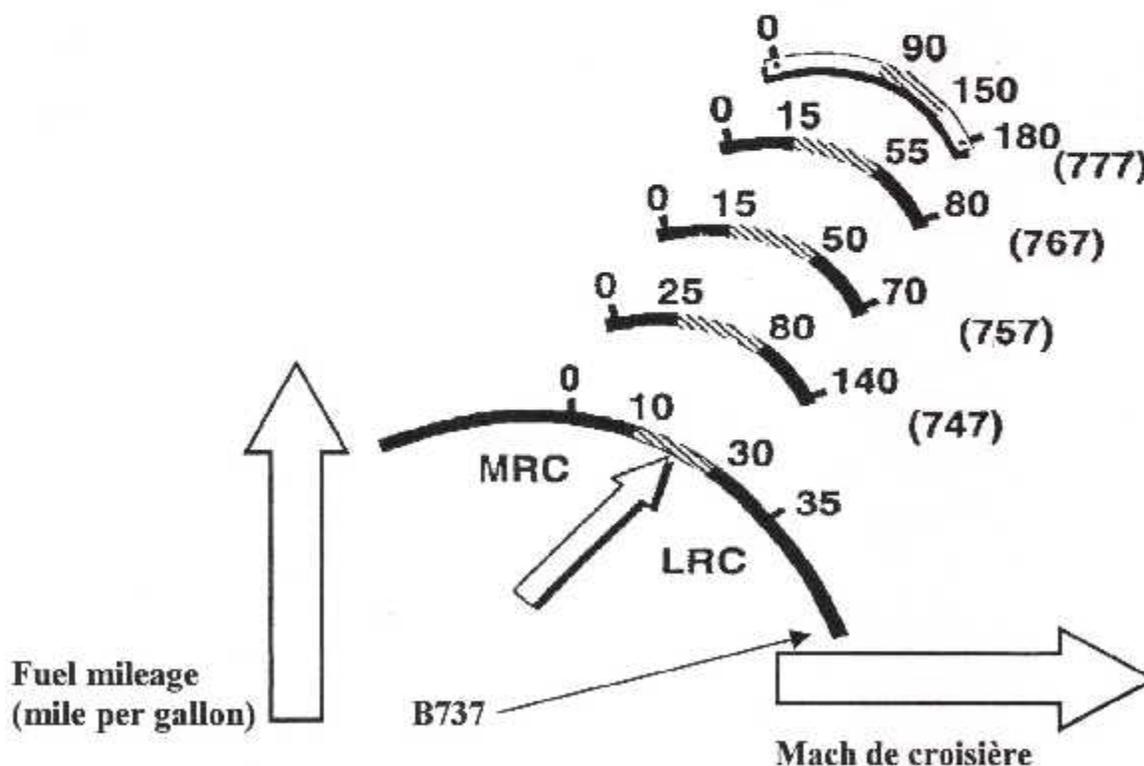
Il existe deux Méthodes pour déterminer le cost index :

- Méthode approximative.
- Méthode rigoureuse.

II.1 La Méthode approximative :

Cette Méthode consiste à déterminer le cost index qui est proche de LRC ou MRC, donc c'est la compagnie qui décide de la valeur qu'elle veut prendre en compte LRC ou MRC.

- Exemple 1:



Les valeurs du cost index pour les avions de Boeing.

- **Exemple 2 :** on va voir des exemples du choix des compagnies :
- Pour les compagnies U.S. qui effectuent des vols domestique en utilisant les avions B737-200 /300 ; B767, leurs choix est approximatif à LRC.
- Pour les compagnies Européennes, qui effectuent des vols de grande distance avec les avions B747 ; B757 , leurs choix est approximatif à LRC.
- Pour les compagnies de l'Amérique du Sud qui utilisent le avions (B737-300 / B767-200) le choix est de 30 pour le B737-300 et il est de 80 pour le B767-200.

II.2 La Méthode rigoureuse :

Cette Méthode consiste à bien déterminer les composants de la formule :

- Coût carburant.
- Coût horaire :
 - Coût personnel navigant
 - Coût maintenance.

a. Coût carburant :

Le coût carburant est évalué et donné par les entreprises pétrolières dans chaque pays. Généralement, il est exprimé en Dollars par pounds (\$/lb).

Lorsque les consignes recommandent le transport de carburant pour l'étape retour, comme c'est le cas sur les lignes internationales d'AIR ALGERIE, le prix du carburant est majoré pour tenir compte de la surcharge de carburant. Cette surcharge est considérée comme un supplément de prix, on utilise le prix fictif qui en résulte pour calculer le cost index.

Lorsque le carburant au réservoir est insuffisant pour l'étape du retour, et qu'un complément s'avère nécessaire, le prix à prendre en compte est une moyenne des prix de carburant au départ et à la destination pondérée par les quantités respectives.

Exemple :

Si on transporte une quantité de carburant Q_c avec un coût carburant Cf_0 , et la quantité complémentaire q_c avec un coût carburant Cf_1 , le coût carburant à considérer pour le calcul du cost index est :

$$Cf = [(Q_c.Cf_0)+(q_c.Cf_1)]/(Q_c+q_c)$$

Le coefficient de transport :

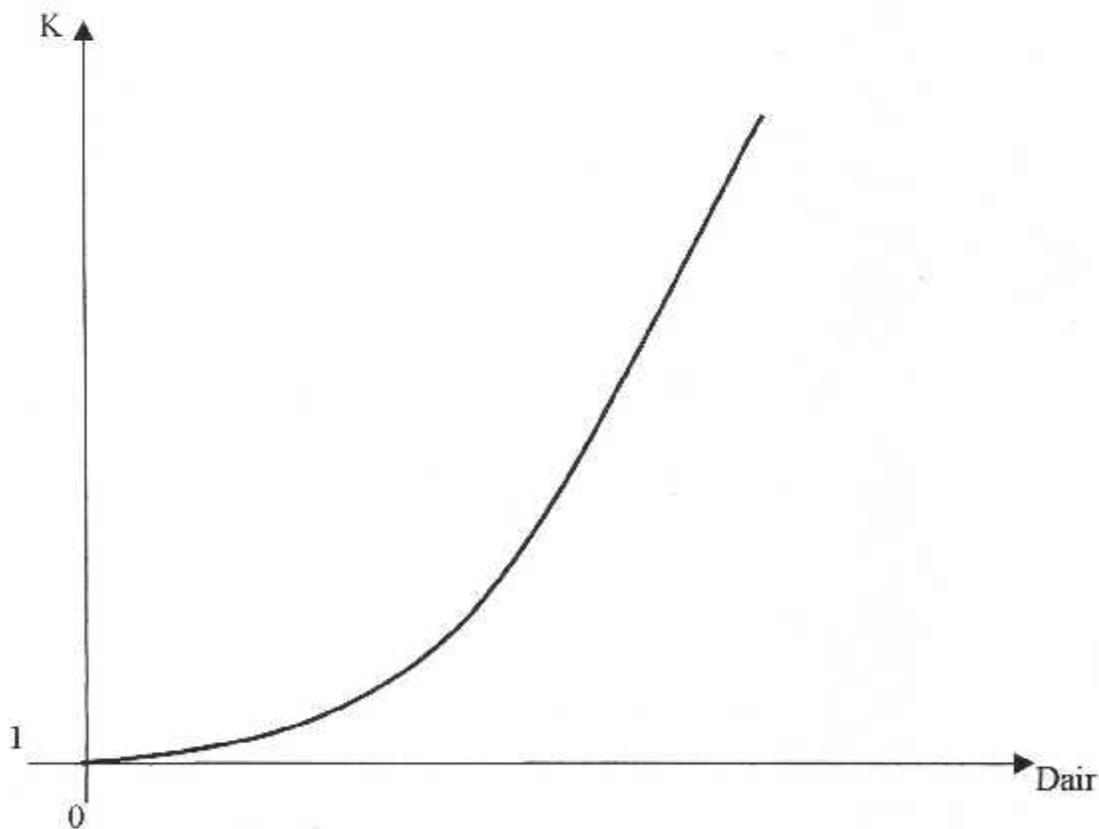
Les problèmes posés par les « crises de l'énergie » amènent au stade de la préparation des vols à cerner au maximum la quantité de carburant mise à bord.

En effet toute tonne de carburant supplémentaire mise à bord est en partie consommée pour son transport.

C'est en particulier la notion exprimée par le « coefficient de transport » : **K**

$$\mathbf{K = (\Delta \text{ masse décollage} / \Delta \text{ masse atterrissage}) = \Delta MD / \Delta MA.}$$

Le graphe suivant montre la variation de K en fonction de la distance.



Remarque :

K est une fonction croissante de la distance.

b. Coût personnel navigant :

La paie des PN est évaluée et donnée par le département des finances de la compagnie aérienne, à partir des différents statuts du personnel navigant. En rassemblant toutes les informations, il est possible de faire une estimation précise du coût horaire PN.

En effet, au niveau de la compagnie Air Algérie, seule une prime dans la paie équipage est en relation directe avec le nombre d'heure de vol, c'est la prime d'heure de vol.

Donc, seul le coût marginal à l'heure de vol est à prendre en compte, le salaire de base et autres primes fixes sont à exclure du calcul du Cost Index.

c. coût maintenance :

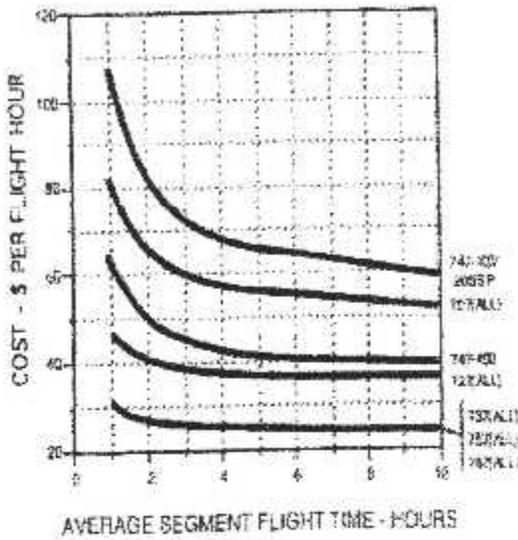
Ce sont les dépenses occasionnées par le maintien de l'appareil en condition de vol, suivant le nombre d'heure qu'il a effectué, ces dépenses liées à l'heure de vol sont évaluées et données par le département technique pour chaque avion.

Le constructeur Boeing a fait une étude en 1991 de prévision des coûts horaires de la maintenance pour l'ensemble de ses avions, avec les considérations suivantes :

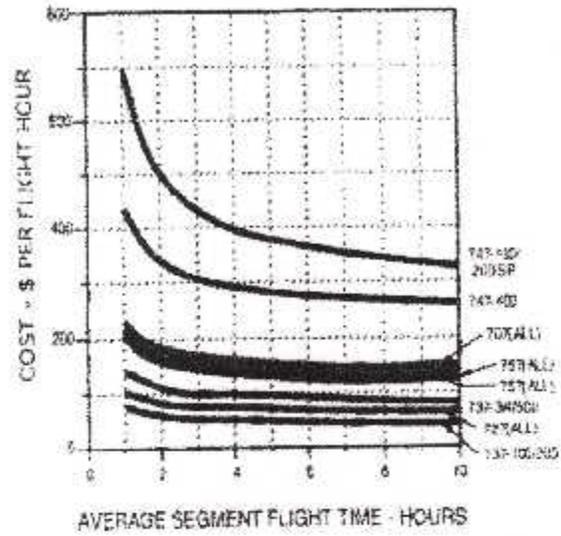
1. Le coût de maintenance est la somme du coût de maintenance de la structure et celui des réacteurs. Chacun d'eux est la somme du coût de maintenance pièces et celui de la main d'œuvre .
2. Le constructeur donne pour chaque coût cité précédemment une abaque donnant le coût total par unité d'heure de vol. Ce coût prend en compte toutes les dépenses , même celles qui sont fixés. (figures 2.3.4.5).

Les graphes : 2 ; 3 ; 4 ; 5

Graphes des coûts de la maintenance réacteurs

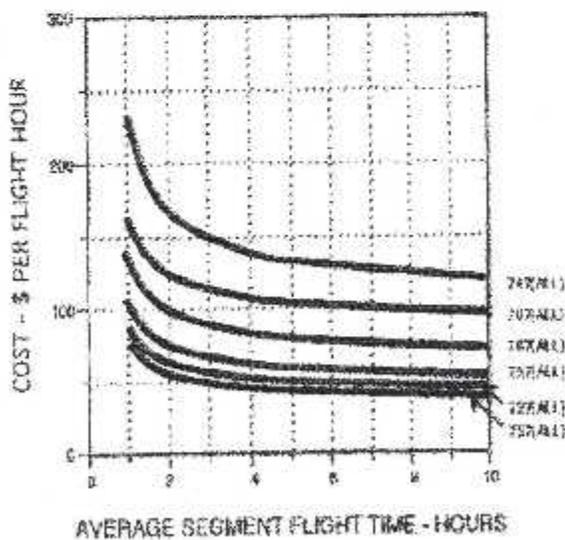


- Coûts de la main d'œuvre -
figure -2-

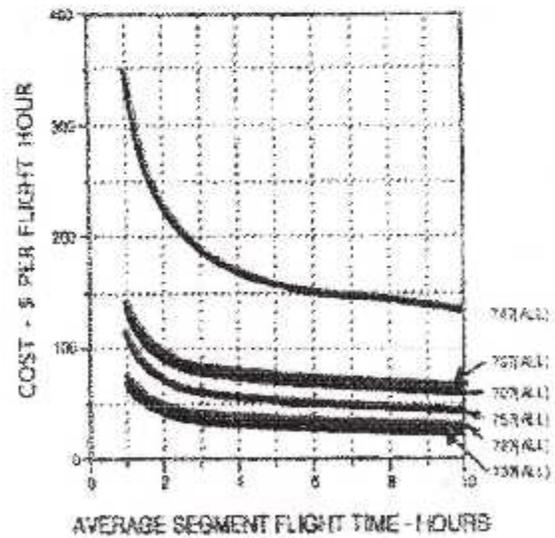


- Coûts des pièces de maintenance -
figure -3-

Graphes des coûts de la maintenance structure



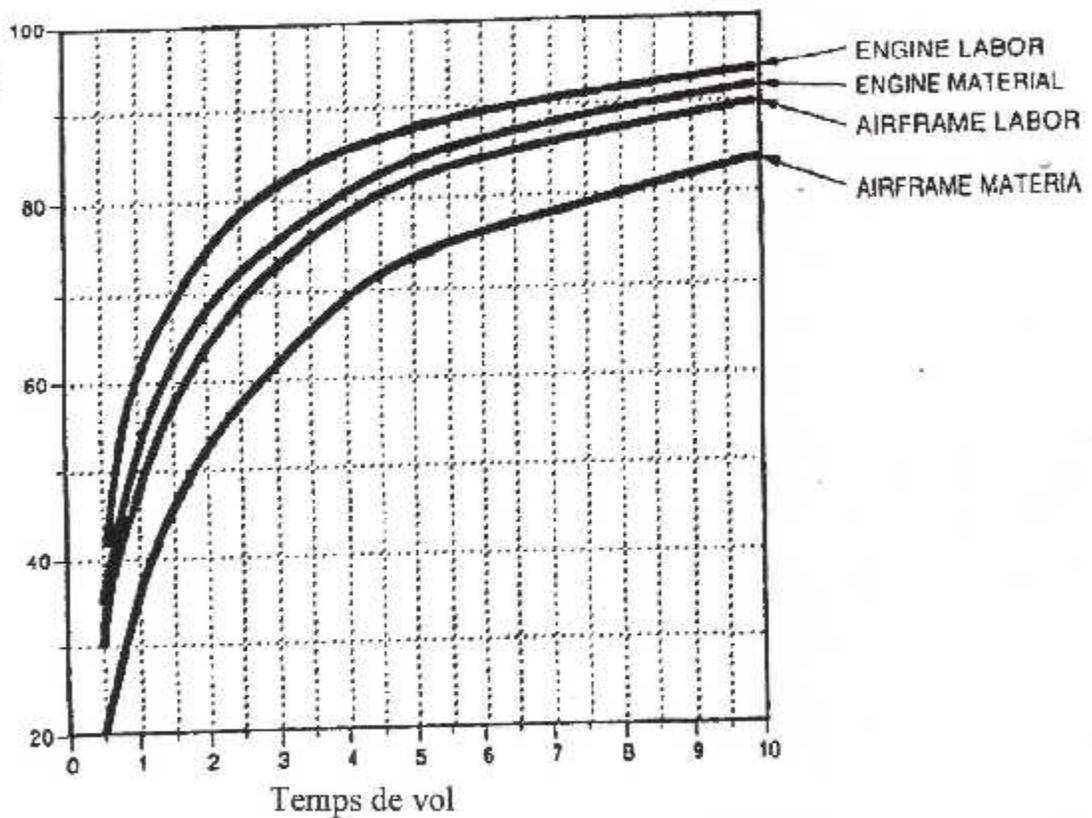
- Coût de la main d'œuvre -
figure -4-



- Coût de la pièce de structure -
figure-5-

3. Le constructeur peut supprimer la partie fixe dans chacun des coûts précédents, il propose le graphe (figure 6) donnant la partie du coût qui est liée à l'heure de vol.

Pourcentage des coûts
Avec l'heure de vol



Pourcentage des coûts directs de la maintenance liés avec l'heure de vol
Figure (6)

Exemple :

Calcul du coût de maintenance du B767-200.

Temps de vol de l'étape est de 2.5 heures, donc on aura : (à partir des graphes 2,3,4,5)

- Le coût total de maintenance structure (main d'œuvre) = 95\$/h.
- Le coût total de maintenance structure (pièces) = 90\$/h.
- Le coût total de maintenance réacteur (main d'œuvre) = 27\$/h.
- Le coût total de maintenance réacteur (pièces) = 170\$/h.

A partir du graphe (figure 6) on aura le pourcentage de chaque coût :

- Main d'œuvre structure : 68%.
- Pièces structure : 57%.
- Main d'œuvre réacteur : 78%.
- Pièces réacteur : 72%.

Donc le coût horaire de maintenance est égal à la somme de tous ces coûts majorés du pourcentage correspondant :

$$\text{Coût maintenance} = (95 \times 0.68) + (90 \times 0.75) + (27 \times 0.78) + (170 \times 0.72).$$

$$\text{Coût maintenance} = \underline{\underline{259 \text{ \$/h.}}}$$

CHAPITRE VI :

Le logiciel.

Le logiciel qui va être présenté, propose le calcul du Cost Index à introduire dans le CDU du FMC des avions B767, B737, A310 et de tout le réseau de route d'Air Algérie.

I. Description du logiciel :

Le logiciel est présenté en trois parties :

A- La saisie des tables :

C'est la base de donnée du logiciel où on trouve toutes les informations liées à la compagnie, c'est à dire les pays et aéroports desservis, les coûts liés à l'heure de vol (du personnel navigant et de la maintenance) et les coûts de carburant par type d'avion par ligne.

Le logiciel permet une mise à jour pour chaque paramètre, le coût PN, maintenance et le coût carburant, il permet aussi l'ajout et la suppression d'une nouvelle ligne, pays ou aéroport.

B- Remplir les paramètres des vols :

Dans ce mode on fait introduire les informations suivantes :

- L'étape (l'aéroport de départ et d'arrivée).
- L'avion pour faire cette étape.
- Le numéro destination.
- Les quantités de carburant nécessaire pour faire l'étape.

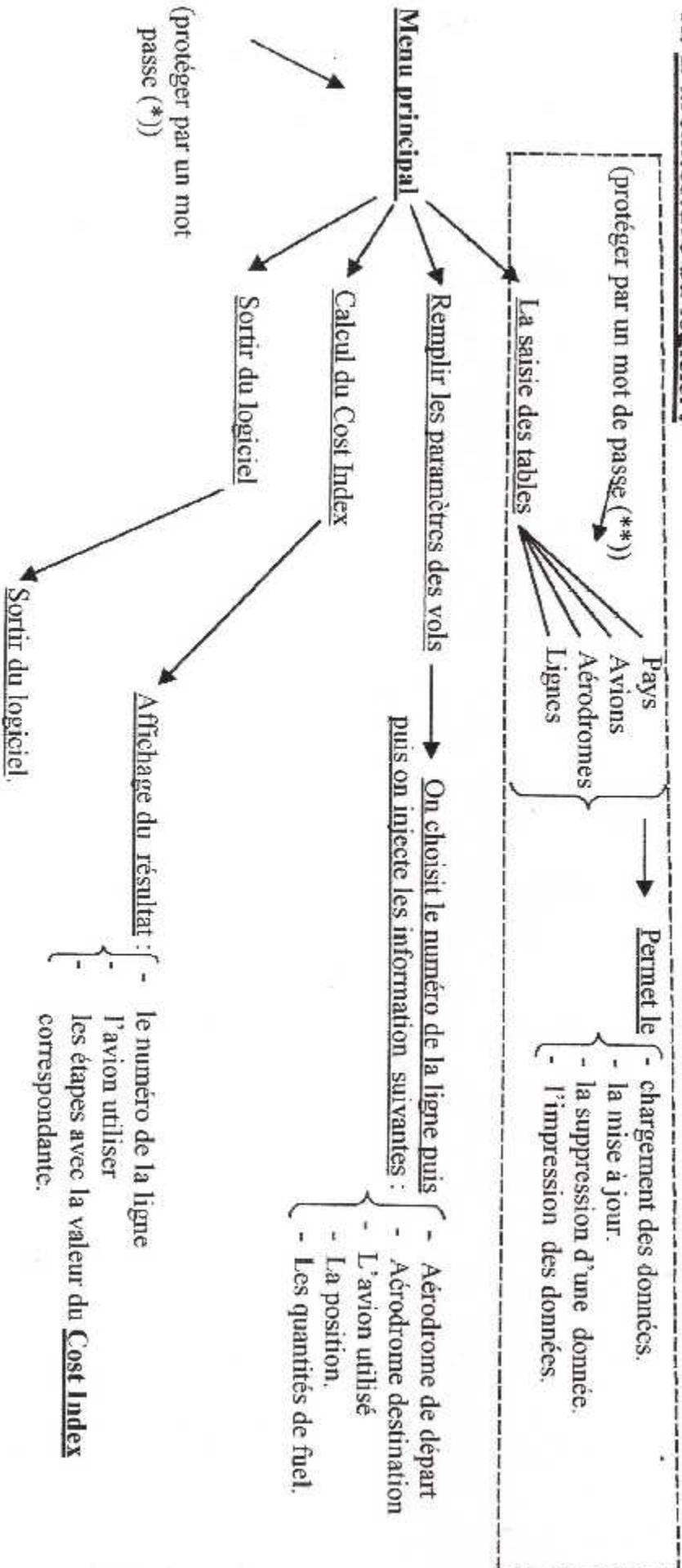
Remarque :

Pour chaque vol on a un numéro de ligne qui va être sauvegardé, et on pourra le réutiliser une autre fois, soit pour une mise à jour soit pour une routine d'utilisation.

C- Le calcul du Cost Index :

Cette dernière partie du logiciel permet le calcul de la valeur du Cost Index pour toutes les étapes faites par les B767, B737 et l'A310. et permet l'impression du résultat.

II. L'architecture du logiciel :



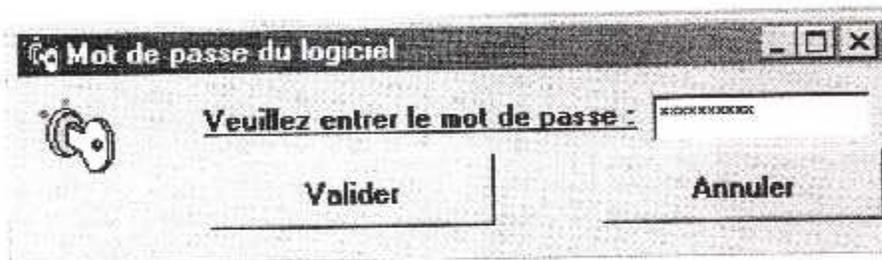
- > (*) c'est le mot de passe qui permet de lancer le logiciel.
- > (**) c'est le mot de passe qui permet de sécuriser les informations de la compagnie.
- > Le mode d'utilisation qui est encadré par les pointillés est un mode réservé à un responsable.

III. Présentation du logiciel :

Pour bien voir comment utiliser le logiciel, on va prendre une ligne et un avion qui ne sont pas déjà dans la base de donnée

- La ligne : Alger / Paris CDG / Alger.
- L'avion : B737-800.

1. Démarrer le logiciel :



Il faudra introduire un mot de passe de 10 lettres puis valider.
Si le mot de passe est bon on aura :

2. Le menu principal :

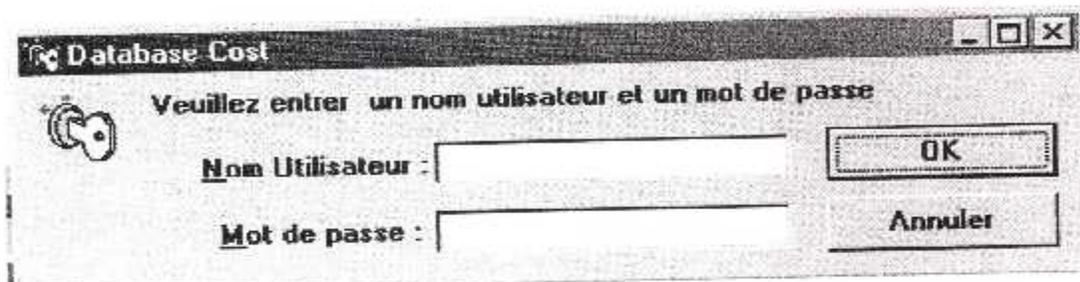


Dans ce menu principal, on doit choisir le mode qu'on veut utiliser :

- La saisie des tables.
- Remplir les paramètres des vols.
- Calcul Cost Index .

➤ La saisie des tables :

En choisissant ce mode on aura :



C'est la forme qui propose d'introduire un mot de passe et un nom utilisateur, il est fait pour sécuriser les informations.

Si on a le bon nom utilisateur et le bon mot de passe on aura :



Dans cet forme on choisira la table qu'on veut utiliser, soit pour la mise à jour soit pour l'ajout ou la suppression.

Si on click sur l'un des paramètres on aura :

- Le sous menu : Pays

The screenshot shows a window titled "Pays" with the following fields and table:

Le pays :

Code du pays :

Prix du carburant : DA/HL

	Code	Pays	Prix carburant
<input checked="" type="checkbox"/>	A	Algerie	420
<input type="checkbox"/>	B	Belgique	490
<input type="checkbox"/>	C	Liban	433
<input type="checkbox"/>	D	Allemagne	543
<input type="checkbox"/>	E	Espagne	500
<input type="checkbox"/>	F	France	590

Dans cette table on introduira les informations suivantes :

- Le code pays (par une lettre ou deux).
- Le nom du pays.
- Le prix du carburant de ce pays.
- Il faut toujours sauvegarder après l'ajout d'une nouvelle donnée.

Par exemple :

- code : A.
- pays : Algérie.
- le prix du carburant : 420 DA/HL.

- Le sous menu : Avion

The screenshot shows a window titled "Avion" with the following fields:

- Type avion : B737-800VJ
- Immatriculation : 7T-VJJ
- Coût Maintenance : 8500 DA/heure
- Coût P.N : 1560 DA/heure

Below the fields is a table with the following data:

	Immatricula	Type avion	Coût maintenance	Coût PN
▶	7T-VJJ	B737-800VJJ	8500	1560
	7T-VJK	B737-800VJK	8460	1584
	7T-VJL	B737-800VJL	8395	1498

At the bottom of the window, there are navigation icons: a left arrow, a double left arrow, a right arrow, a double right arrow, a plus sign, a minus sign, an up arrow, a refresh icon, a printer icon, and a vertical bar icon.

Dans cette table on introduira les informations suivantes :

- Immatriculation de l'avion.
- coût de maintenance.
- coût du P.N.
- Il faut toujours sauvegarder après l'ajout d'un nouveau appareil.

Par exemple :

- Immatriculation : 7T-VJJ.
- Type avion : B737-800VJJ.
- Coût maintenance : 8500 DA/heure.
- Coût P.N. : 1560 DA/heure.

- Le sous menu : Aérodrome

The screenshot shows a window titled "Les aérodromes" with three input fields and a table. The first field is "Code de l'aérodrome:" with the value "DAAE". The second field is "Nom de l'aérodrome:" with the value "Bejaia". The third field is "Affécter le pays:" with a dropdown menu showing "Algerie". Below these fields is a table with two columns: "Code" and "Aérodrome". The table contains four rows of data: (DAAE, Bejaia), (DAAG, Alger), (DAAJ, Djanet), and (DAAT, Tamanrasset). The table has a scrollbar on the right and a small triangle icon on the left of the first row. At the bottom of the window, there are several navigation icons: a play button, a right arrow, a plus sign, a minus sign, an up arrow, a refresh button, a print button, and a help button.

Code	Aérodrome
DAAE	Bejaia
DAAG	Alger
DAAJ	Djanet
DAAT	Tamanrasset

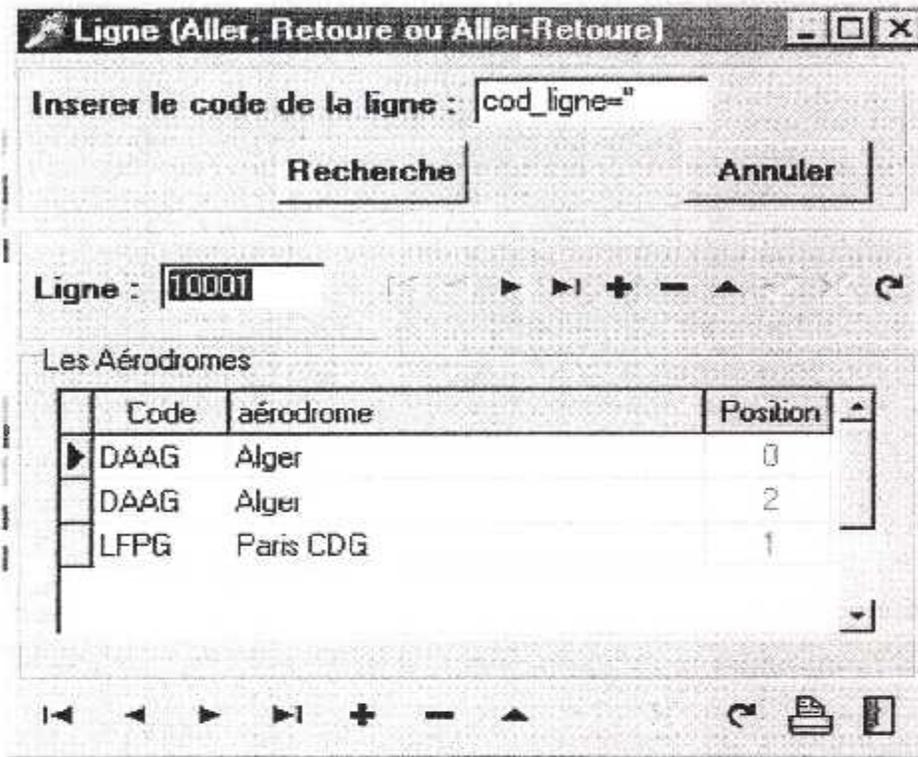
Dans cette table on introduit les informations suivantes :

- Le code de chaque aérodrome (code OACI).
- Le nom de l'aérodrome.
- Le pays de l'aérodrome.

Par exemple :

- code aérodrome : DAAG.
- Le nom de l'aérodrome : ALGER.
- Le pays de l'aérodrome : ALGERIE.

- Le sous menu : ligne



Dans cette table on introduit les lignes de la compagnie qui sont faites par les avions. Donc on va affecter pour chaque ligne un numéro.

Les informations qu'on doit introduire sont :

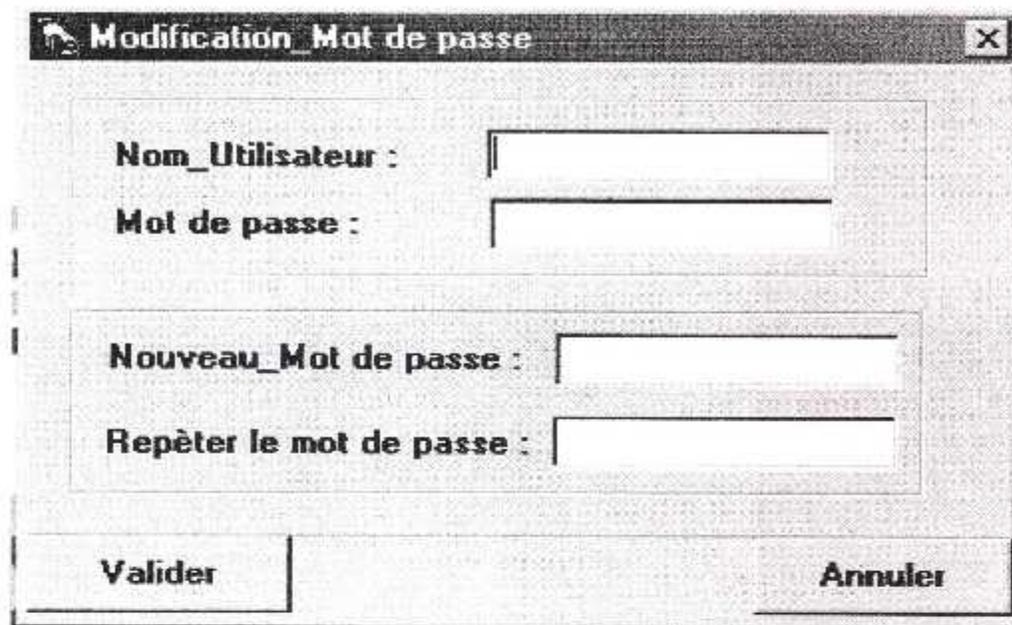
- un numéro de ligne.
- Les étapes avec leurs positions.

Par exemple :

Pour une nouvelle ligne :

- Le numéro de la ligne : 10001.
- Les Aérodroemes :
 - DAAG (ALGER)..... Position 0
 - LFPO (PARIS CDG).....position 1
 - DAAG (ALGER).....position 2

- modifier mot de passe :



The image shows a graphical user interface window titled "Modification_Mot de passe". The window has a standard title bar with a mouse cursor icon on the left and a close button (X) on the right. The main area of the window contains four text input fields arranged in two pairs. The first pair consists of "Nom_Utilisateur" and "Mot de passe". The second pair consists of "Nouveau_Mot de passe" and "Répéter le mot de passe". At the bottom of the window, there are two buttons: "Valider" on the left and "Annuler" on the right.

Cette forme nous donne la possibilité de modifier le mot de passe (sécurisation des informations)

- Quitter :

En cliquant sur Quitter, on sortira du mode saisie des tables et on reviendra au menu principal.

REMARQUE :

On pourra imprimer toutes les informations qui se trouvent dans la base de données du logiciel en cliquant sur imprimer.

➤ Remplir les paramètres des vols :

Remplir les paramètres du vol

Inserer le code de la ligne : Recherche Annuler

Numéro de la ligne : ▶ ▶▶ ↺

L'avion utiliser : ▼ **Quantité de fuel de l'étape :** t

Aérodrome de départ : ▼ **Supplément fuel :** t

Aérodrome de destination : ▼ **Total fuel :** t

Position : ▼ **Fuel restant :** t

Delta C : t

vol

Départ	Destination	Position	Quantité de fuel de l'étape	Supplément fuel
▶ Alger	Paris CDG	0	10	10,3
□ Paris CDG	Alger	1	10,6	0

◀ ▶ + - ▲ ↺ 🖨️ 📄

Les vols sont identifiés par un numéro de ligne, donc s'il existe, on utilise le mode de recherche et nous aurons toutes les informations. (fichier sauvegarder)

Mais si la ligne n'a pas un fichier qui contient les informations, on sera obligé de les remplir. Les informations demandées sont :

- Aérodrome de départ.
- Aérodrome de destination.
- L'avion utiliser.
- position.
- Quantité de fuel de l'étape.
- Supplément fuel.
- Total Fuel.
- Fuel restant.
- Delta C.

Définition des quantités de carburant :

- **Quantité de fuel de l'étape :**

C'est la quantité de carburant consommée pour faire l'étape.

- **Supplément fuel :**

C'est la quantité de carburant mise à bord de l'avion pour être consommé pour l'étape suivante.

- **Total fuel :**

C'est la quantité total de carburant embarqué à bord de l'avion.

- **Fuel restant :**

C'est la quantité de carburant restante à la destination.

- **Delta C :**

C'est le fuel consommé pour le transport du fuel supplémentaire.

Par exemple :

Numéro de la ligne : 10001.

- Aéroport de départ : ALGER.
- Aéroport de destination : PARIS CDG.
- L'avion utiliser : B737-800VJJ.
- position : 0.
- Quantité de fuel de l'étape : 10 t.
- Supplément fuel : 10,3 t.
- Total Fuel: 28,1 t.
- Fuel restant : 17 t.
- Delta C : 0,8 t.

On répète la même chose pour l'étape du retour. (Numéro de l'étape 1)

➤ **Calcul Cost Index :**

The screenshot shows a software window titled "Calcul du cost index". It contains the following elements:

- A field for "Numéro de ligne" with the value "10001".
- A field for "Avion" with the value "7T-VJJ" and a sub-field with "B737-800VJJ".
- A table with two columns: "Tronçon" and "Cost Index".
- Buttons for navigation and printing at the bottom.

Tronçon	Cost Index
Alger - Paris CDG	44
Paris CDG - Alger	46

Dans ce mode on aura le résultat final, c'est à dire le Cost Index de chaque étapes .

Les informations affichées sont :

- le numéro de la ligne.
- L'avion utilisé.
- Les étapes et le Cost Index respectifs .

Remarque :

**On pourra imprimer le résultat en cliquant sur le bouton imprimer.
(Voir page suivante)**

AIR ALGERIE
DIRECTION DES OPERATIONS
S/D EXPLOITATION

Cost Index

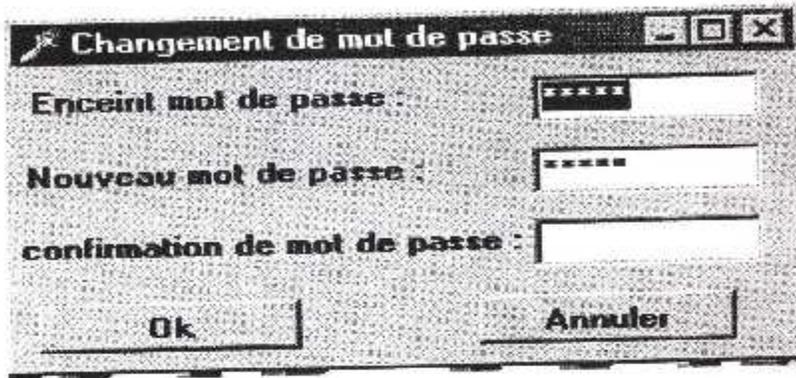
Ligne : 10001

Avion : 7T-VJJ B737-800VJJ

N°	Etapes	Cost Index
1	Alger - Paris CDG	44
2	Paris CDG - Alger	46

Remarque :

Si on veut changer le mot de passe principale, on click sur le bouton Correspondant.



The image shows a screenshot of a Windows-style dialog box titled "Changement de mot de passe". The dialog box has a standard title bar with minimize, maximize, and close buttons. It contains three text input fields, each preceded by a label: "Enceint mot de passe :", "Nouveau mot de passe :", and "confirmation de mot de passe :". The first two fields contain five asterisks, while the third field is empty. At the bottom of the dialog box, there are two buttons: "Ok" on the left and "Annuler" on the right.

CONCLUSION

Nous avons vu précédemment qu'il fallait bien déterminer les coûts directs d'exploitation pour calculer le **COST INDEX**, et qu'il fallait aussi faire un choix judicieux des autres paramètres (Altitude et cheminement du plan de vol....).

Mais le calcul du **COST INDEX** exige une politique d'emport carburant bien définie , pour mieux cerner au maximum les coûts d'exploitations.

Le logiciel que nous proposons permet de gérer les coûts d'exploitation et de les modifier à tout moment. Donc, il permet le calcul d'un **COST INDEX** précis et fiable avec des coûts d'exploitations qui auront un suivi permanent (à tous moment on pourra faire une mise à jour). Ce qui permettra d'avoir un bon affichage sur les CDU (des FMC) de tous les avions, donc obtenir les vitesses économiques (**ECON SPEED**).

L'objectif visant à réaliser le bon compromis entre la consommation carburant et le temps de vol à partir des coûts directs d'exploitations sera atteint.

LES ANNEXES :

Annexe 1 : les escales des avions.

Annexe 2 : rappels.

Annexe 3 : structure du FMS.

Annexe 4 : les imprimés.

Annexe 1 :

Les escales des avions :

A310-203		
Aérodromes	OACI	IATA
BARCELONE	LEBL	BCN
BEYROUTH	OLBA	BEY
CONSTANTINE	DABC	CZL
ISTANBUL	LTBA	IST
LILLE	LFQQ	LIL
LONDON	EGLL	LHR
LYON	LFLL	LYS
MARSEILLE	LFML	MRS
TMANRASSET	DAAT	TMR
ALGER	DAAG	ALG
AMMAN	OJAI	AMM
ANNABA	DABB	AAE
BAHRAIN	OBBI	BAH
DOUBAI	OMDB	DXB
JEDDAH	OEJN	JED
MOSCOW	UUEE	SVO
ORAN	DAOO	ORN
PARIS CDG	LFPG	CDG
ROME	LIRF	FCO
DAMAS	OSDI	DAM

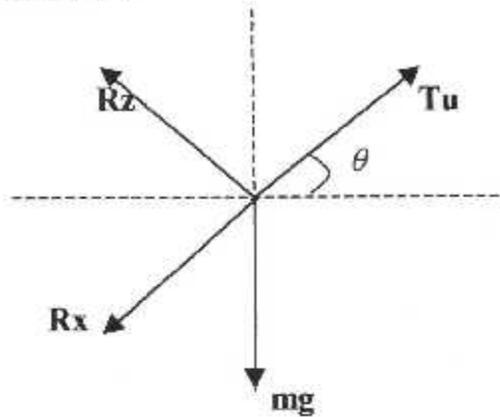
B767-300		
Aérodromes	OACI	IATA
BEYROUTH	OLBA	BEY
ISTANBUL	LTBA	IST
LILLE	LFQQ	LIL
LONDON	EGLL	LHR
MARSEILLE	LFML	MRS
TAMANRASET	DAAT	TML
ALGER	DAAG	ALG
AMMAN	OJAI	AMM
ANNABA	DABB	AAE
DAMAS	OSDI	DAM
DOUBAI	OMBB	DXB
JEDDAH	OEJN	JED
MOSCOW	UUEE	SVO
ORAN	DAOO	ORN
PARIS CDG	LFPG	CDG
ROME	LIRF	FCO
BAHRAIN	OBBI	BAH

B737-800		
AERODRMOES	OACI	IATA
BARCELONE	LEBL	BCN
BATNA	DABT	BLJ
BECHAR	DAOR	CBH
BEJAIA	DAAE	BJA
BEYROUTH	OLBA	BEY
BORDEAUX	LFBD	BOD
CONSTANTINE	DABC	CZL
DJANET	DAAJ	DJG
GATWICK	EGKK	LGW
GENEVE	LSGG	GBA
ISTANBUL	LTBA	IST
JIJEL	DAAV	GJL
LILLE	LFQQ	LIL
LONDON	EGLL	LHR
LYON	LFLL	LYS
MADRID	LEMD	MAD
MARSEILLE	LFML	MRS
METZ	LFJL	ETZ
NICE	LFMN	NCE
TAMANRASSET	DAAT	TMR
TEBESSA	DABS	TEE
TOULOUSE	LFBO	TLS
ALGER	DAAG	ALG
ALICANTE	LEAL	ALC
AMMAN	OJAI	AMM
ANNABA	DABB	AAE
BAHRAIN	OBBI	BAH
BAMAKO	GABS	BKO
BERLIN	EDDB	SFX
BRUXELLE	EBBR	BRU
CAIRE	HECA	CAI
CASABLANCA	GMMN	CMN
CHRLEROI	EBCI	CRL
FRANKFURT	EDDF	FRA
GHARDAIA	DAUG	GHA
HASSI MESSAOUD	DAUH	HME
JEDDAH	OEJN	JED
MOSCOW	UUEE	SVO
NIAMEY	DRRN	NIM
ORAN	DAOO	ORN
PALMA	LEPA	PMI
PARIS CDG	LFPG	CDG
PRAGUE	LKPR	PRG
ROME	LIRF	FCO
SOFIA	LBSF	SOF
TRIPOLIE	HLLT	TIP
TUNIS	DTTA	TUN

ANNEXE 2 : Rappels.

1. La montée :

A - Equations de la montée :



Rz : la portance.
Rx : la traînée.

On peut calculer la pente et la vitesse ascensionnelle par les formules :

$$\theta\% = 100 \cdot \left(\frac{T_u}{mg} - \frac{1}{f} \right)$$

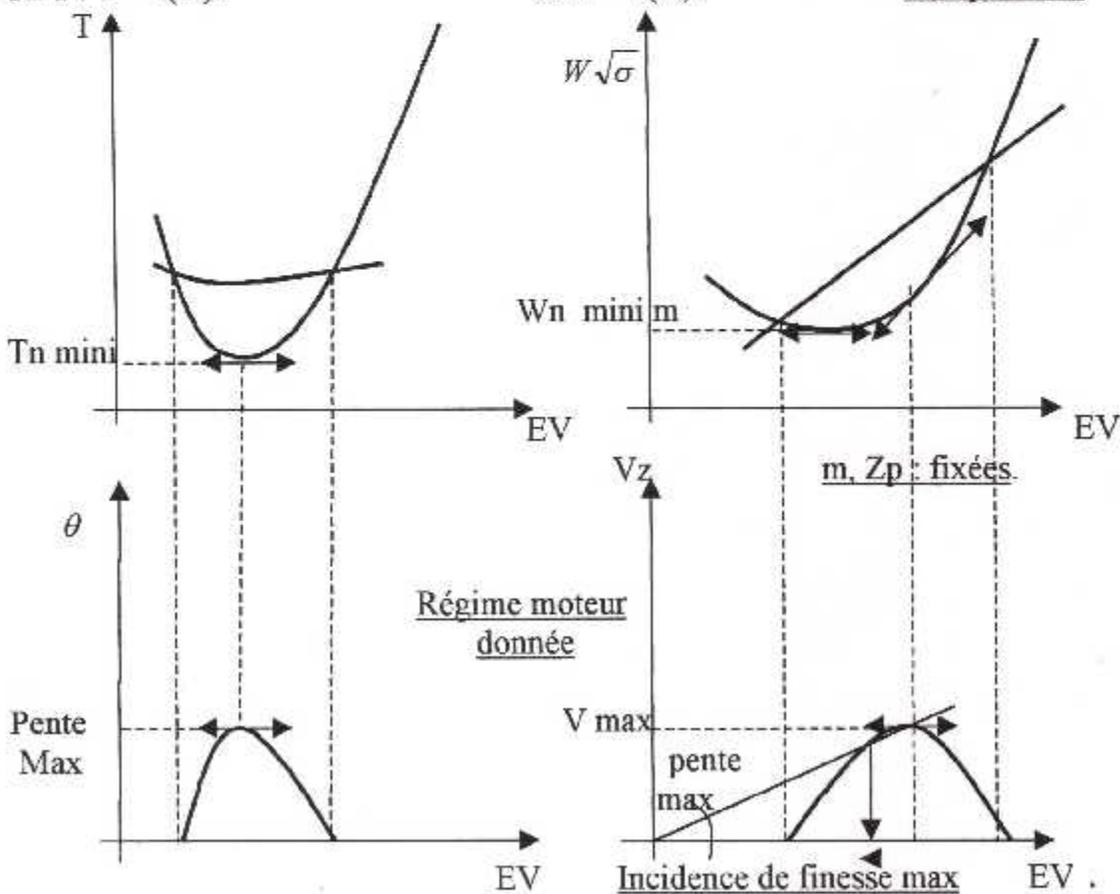
$$V_z = \frac{W_u - W_n}{mg}$$

B - Les courbes de la pente et de la vitesse ascensionnelle :

On a : $T = f(V)$.

et $W = f(V)$.

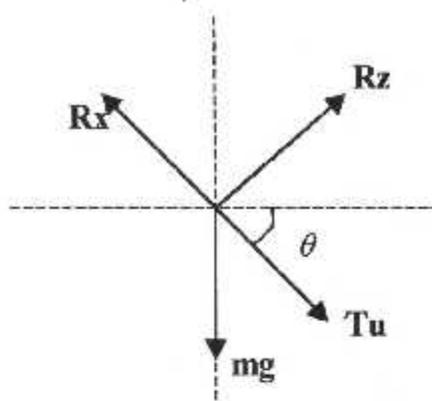
m, Z_p : fixées



2. La descente :

A - Equations de la descente :

R_x : la traînée.
R_z : la portance.



$$\theta\% = 100 \cdot \left(\frac{T_u}{mg} - \frac{1}{f} \right)$$

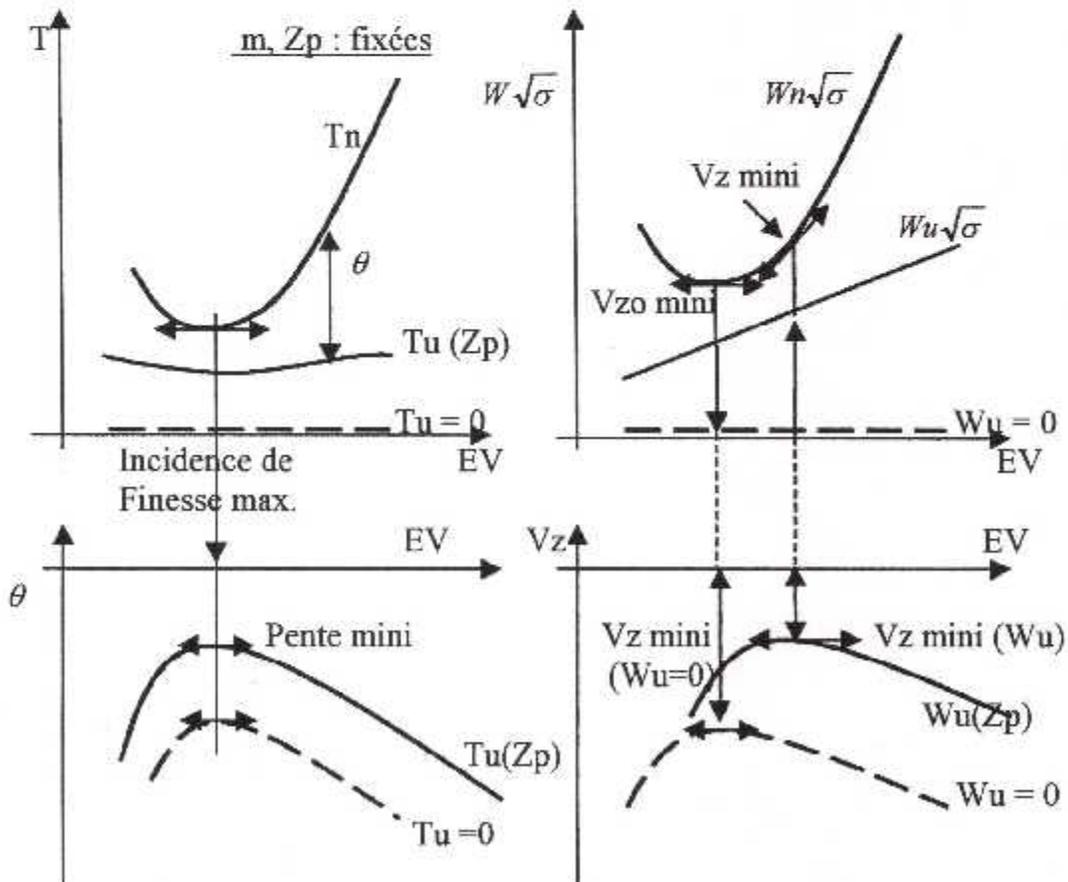
$$V_z = \frac{W_u - W_n}{mg}$$

- Lorsque les moteurs sont coupés ou réduits ($T_u = 0$) :

$$\theta\% = -\frac{100}{f}$$

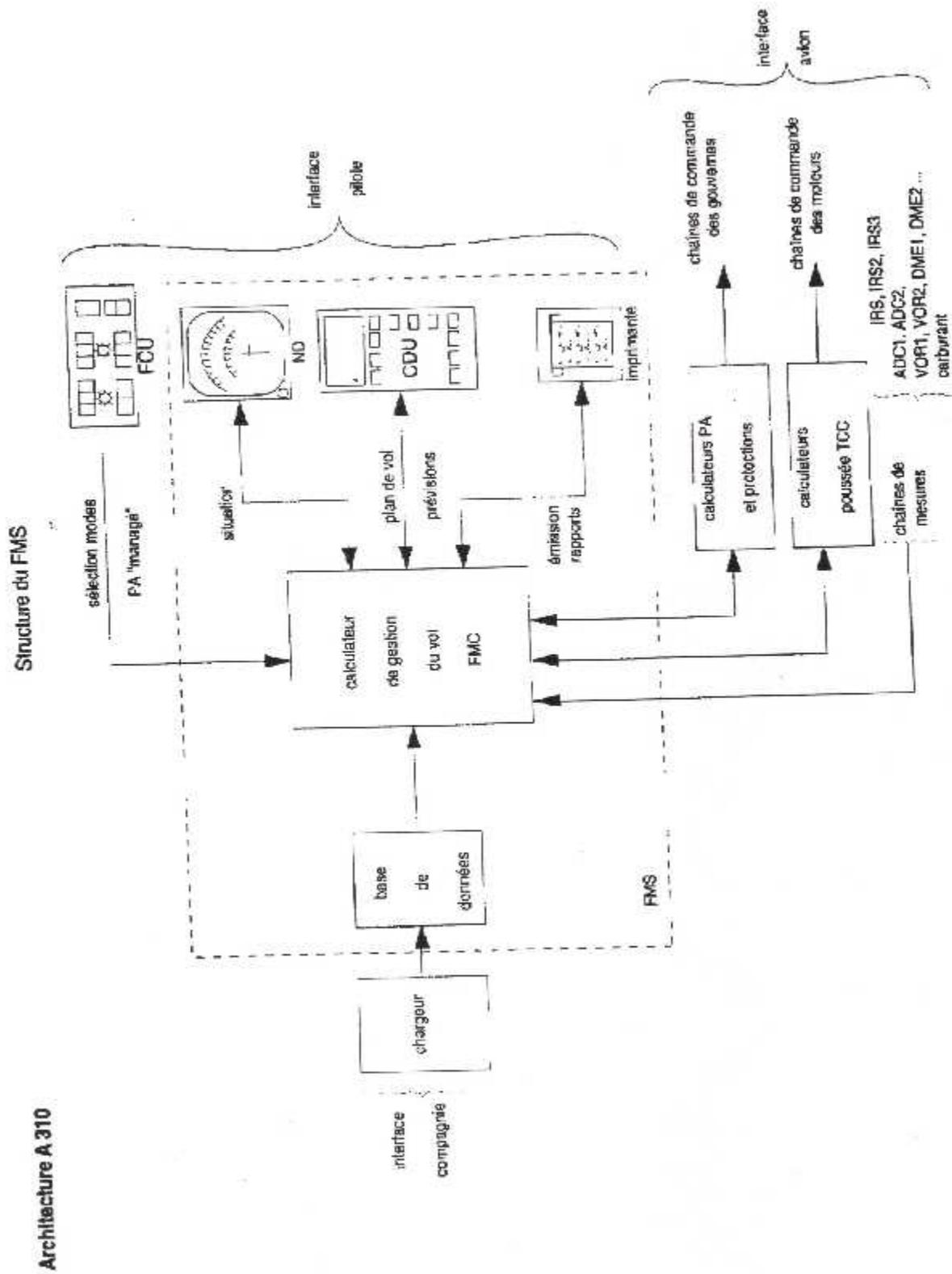
$$V_z = -\frac{W_n}{mg}$$

B. Les courbes de la pente et la vitesse de descente:



Annexe 3 :

La structure du FMS dans le A310 :



ANNEXE 4 : les imprimés.

AIR ALGERIE
DIRECTION DES OPERATIONS
S/D EXPLOITATION

Liste des Avions

N°	Immatriculation	Type avion	Coût maintenance (DA/h)	Coût P.N. (DA/h)
1	7T-VJC	A310-200VJC	10236	2680
2	7T-VJD	A310-200VJD	10365	2700
3	7T-VJG	B767-300VJG	10698	2351
4	7T-VJH	B767-300VJH	10702	2360
5	7T-VJI	B767-300VJI	10690	2400
6	7T-VJJ	B737-800VJJ	8500	1560
7	7T-VJK	B737-800VJK	8460	1584
8	7T-VJL	B737-800VJL	8395	1498
9	7T-VJM	B737-800VJM	8590	1600

AIR ALGERIE
DIRECTION DES OPERATIONS
S/D EXPLOITATION

Les Tronçon d'une ligne

Ligne : 10001

N°	Aérodrome
1	Alger
2	Paris CDG
3	Alger

AIR ALGERIE
DIRECTION DES OPERATIONS
S/D EXPLOITATION

Liste des pays

N°	Code	Pays	Prix carburant (DA/HL)
1	A	Algerie	420
2	B	Belgique	490
3	C	Liban	433
4	D	Allemagne	543
5	E	Espagne	500
6	F	France	590
7	G	Suisse	466
8	H	Jordanie	592
9	I	Royaume uni	589
10	J	Turquie	487
11	K	Bahrain	650
12	L	Mali	502
13	M	Egypte	510
14	N	Maroc	532
15	O	Arabie Saoudite	239
16	P	Russie	375
17	Q	Niger	459
18	R	Tchéque	702
19	S	Italie	555
20	T	Libye	399
21	U	Bulgarie	681
22	V	Tunisie	632
23	W	Syrie	733
24	X	EAU	230

AIR ALGERIE
DIRECTION DES OPERATIONS
S/D EXPLOITATION

Liste des Aérodrômes

N°	Code	Aérodrome	Pays
1	DAAE	Bejaia	A
2	DAAG	Alger	A
3	DAAJ	Djanet	A
4	DAAT	Tamanrasset	A
5	DAAV	Jijel	A
6	DABB	Annaba	A
7	DABC	Contantine	A
8	DABS	Tebessa	A
9	DABT	Batna	A
10	DAOO	Oran	A
11	DAOR	Bechar	A
12	DAUG	Gardaia	A
13	DAUH	Hassi Messaoud	A
14	DRRN	Niamey	Q
15	DTTA	Tunis	V
16	EBBR	Bruxelle	B
17	EBCI	Charleroi	F
18	EDDB	Berlin	D
19	EDDF	Frankfurt	D
20	EGKK	Gatwick	I
21	EGLL	London	I
22	GABS	Bamako	L
23	GMMN	Csablanca	N
24	HECA	Caire	M
25	HLLT	Tripolie	U
26	LBSF	Sofia	U
27	LEAL	Alicante	E
28	LEBL	Barcelone	E
29	LEMD	Madrid	E
30	LEPA	Palma de Mallorca	E
31	LFBD	Bordeaux	F
32	LFBO	Toulouse	F
33	LFJL	Metz	F
34	LFLL	Lyon	F
35	LFML	Marseille	F
36	LFMN	Nice	F
37	LFPG	Paris CDG	F
38	LFQQ	Lille	F
39	LIRF	Rome	S
40	LKPR	Prague	R
41	LSGG	Geneve	G
42	LTBA	Istanbul	J
43	OBBI	Bahrain	K
44	OEJN	Jeddah	O

AIR ALGERIE
DIRECTION DES OPERATIONS
S/D EXPLOITATION

Liste des Aérodrômes

N°	Code	Aérodrome	Pays
45	OJAL	Amman	H
46	OLBA	Beyrouth	C
47	OMDB	Doubai	X
48	OSDI	Damas	W
49	UUEE	Moscow	P

AIR ALGERIE
 DIRECTION DES OPERATIONS
 S/D EXPLOITATION

Les paramètres du vol

Ligne : 10001

Avion : B737-800VJJ

N°	Départ	Destination	Quantité de fuel de l'étape	Suppliment fuel	Total fuel	Fuel restant	Delta C
1	Alger	Paris CDG	10	10,3	20,1	17	0,8
2	Paris CDG	Alger	10,6	0	17	6,4	0

BIBLIOGRAPHIE.

- Document AIR BUS
Cost index calculation, opérationnel use, fuel tanckering 1993 .
- Opérations aériennes (tome II).
Méthodes d'exploitation (M. MARTIN) 3^{em} édition 1989.
- Opération par (M . Bale)
Institue Aéronautique JEAN MERMOZ 4^{em} trimestre 1984.
- Avionique (TOME 2)
Systèmes de contrôle automatique et de gestion du vol.
Par (FELIX MORACAMINO) 1995.
- Document Boeing
cost index performance engineer operation 1989.
- www. Boeing .com / B737-800
/ B767-200
/ Fuel.
- Document Boeing general performance 1989.
- Langage DELPHI 5. 2000.