

22 → 69

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

UNIVERSITE DE BLIDA



THEME :

Elaboration d'un logiciel de calcul du COST INDEX pour L' AIRBUS 330-200 D' AIR ALGERIE

Réalisé et présenté par :

- HASSINI SAMIR
- MOULFI LINA

Promoteur :

Mr. TERMELLIL FARID

Année universitaire « 2004-2005 »

REMERCIEMENTS

Merci à Dieu tout puissant de nous avoir donné la santé et le courage pour terminer ce travail .

Nous voulons adresser nos remerciements à notre promoteur Mr. TERMELLIL FARID ,l'ensemble des enseignants de l'institut d'aéronautique ,et tous nos amis pour leurs présence ,ainsi que nos parents qui nous ont tant soutenu moralement .

Nous remercions aussi le directeur de l'institut Mr. BERGUEL .

Samir HASSINI et Lina Moulfi

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes chères parents.

Mon frère : Salim.

Mes sœurs : Nawel et Lamia.

Et à toute ma famille et mes amis particulièrement Abdelmouneim (Abdou) et mes collègues de l'université et d'Air Algérie et Khalifa airways .

Et à mon binôme LINA .

SAMIR HASSINI

SOMMAIRE

CHAPITRE I :

I- a- Présentation de la compagnie

I-1- Historique ,Actualités et perspectives

I-1-1-Historique p 9

I-1-2-Actualités et perspectivesp10

I-2-Les missions

I-3-Les activités

I-3-1-Au niveau entreprise

I-3-2-En matière de gestion et d'exploitationp11

I-3-2-1-Dans le domaine des activités commerciales

I-3-2-2-Dans le domaine de l'assistance aéroportuaire

I-3-2-2-En matière d'exploitation technique

I-4-Les marches..... p 12

I-4-1-Le marche de transport aérien international

I-4-2-Le marche de transport aérien domestique

I-4-3-Le marche de transport aérien fret

I-5-Organisationp 13

I-5-1-Composition de la direction générale

I-5-2-Des directions centrales, réparties par nature d'activités

I-5-3-Des unités de base opérationnelles réparties en zones géographiques ...p14

I- b- Composition de la flotte d'Air Algériep15

CHAPITRE II :

II-1-Introduction:..... p22

II-2-Definition des coûts d'exploitation

II-2-1- Coûts directsp24

II-2-2- Coûts indirects..... p28

II-3-Conclusion.p29

CHAPITRE III :

III-1-Intoduction	p31
III-2-Procdures pré vol en vu de diminuer la consommation	p32
III-2-1-Position du centre de gravite	
1.Intoduction	
2.Gestion automatique du centre de gravite	p33
3.Influence sur la consommation carburant	
III-2-2-Masse au décollage	p35
1.Intoduction	
2.L'effet de surcharge	p36
III-3-Transport du carburant	
III-4-La montée	p38
III-4-1-Intodction	
III-4-2-Effet de la technique de montée sur la consommation carburant	p40
III-4-3-Consommation carburant par rapport au temps pour la technique de montée	
III-4-4-Tableau de comparaison de technique de montée	p41
III-4-5-Montee a poussée réduite 'DERATED CLIMB'	p42
III-5-La croisière	p44
III-5-1-Intoduction	
III-5-2-Optimisation de l'altitude de croisière.....	p45
1.Altitude de croisement contre altitude optimale.....	p47
2.Optimisation de la croisière avec la montée en palier 'STEPPED CLIMB'	
2.1.Intoduction	
2.2.Selection du profile	
III-5-3-Altitude optimale sur les étapes courtes	p52
III-5-4-Optimisation de la vitesse de croisière.....	p53
1 .Influence du vent sur le Mach.....	p54
2.Utilisation du FMS en 'MODE GESTION'	
3.Nombre de Mach Economique	
III-6-La descente.....	p57
III-6-1-Intoduction	
III-6-2-Effet des techniques de descente sur la consommation carburant.....	p58
III-6-3-Mode de descente contrôlée.....	p61
III-6-4-Mode de descente prématurée	
III-7- L'attente.....	p62
III-7-1-Intoduction	
III-7-2-Divers combinaisons de configuration/vitesse.....	p64
III-8-Economie de carburant.....	p66
III-9-Benefices économiques.....	p68
III-10-Conclusion.....	p69

CHAPITRE IV :

IV-1-Definition du Cost Index.....	p71
IV-2-Relation entre le Cost Index et le nombre de Mach	
IV-3-Methodes de calcul.....	p73
IV-4-Calcul du Cost Index	
IV-5-Methode approximative.....	p76
IV-6-Emport du carburant supplémentaire.....	p77
IV-7-Conclusion.....	p78

CHAPITRE V :

V-1-Presentation du système FMS.....	p81
V-2-Constitution du FMS.....	p83
V-3-Interfaces du système FMS.....	p85
V-4-Banque de données	p86
V-5-Cost Index et FMC.....	p88
V-6-Exploitation du Cost Index par le FMC en montée	p89
V-7- Exploitation du Cost Index par le FMC en croisière.....	p90
V-7-1-Relation entre le Cost Index et la vitesse de croisière.	
a)-A une masse donnée	
b)-A un niveau de vol donné	p91
V-7-2- L'effet du vent sur la vitesse économique	
V-8-Exploitation du Cost Index par le FMC en descente.....	p92
V-8-1-Relation entre le Cost Index et le profile de descente	
V-8-2-Variation des paramètres de descente en fonction du Cost Index.....	p93
V-9-Conclusion	p95

CHAPITRE VI :

VI-1-Intoduction.....	p97
VI-2-Interfaces	
VI-3-Application.....	p100.

Index des tables et figures

Chapitre I :

- Figure 1: Réseau domestique
- Figure 2: Réseau international

Chapitre II :

- Figure 1: variation du coût en fonction du Mach
- Figure 2: Evolution du prix du carburant
- Figure 3: Coût direct
- Figure 4: coût indirect

Chapitre III :

- Figure 1: Variation du rayon spécifique en fonction de la position du CG
- Figure 2: Pénalisation du rayon spécifique pour une augmentation de la MMD d'1%
- Figure 3: Masse optimale appareil en fonction du prix carburant et de la distance
- Figure 4: Profile de montée
- Figure 5: Montée typique en fonction de la vitesse
- Figure 6: Effet de la technique de montée sur la consommation et le temps à 120nm pour 'A300-BA-605R ISA FL350 M=140000kg
- Figure 7: Montée a poussée réduite
- Figure 8 :Carburant et temps pour différents niveaux de vol et Mach
- Figure 9: Détermination de l'altitude optimale pour un Mach constant
- Figure 10: La polaire
- Figure 11: Profile de montée en palier
- Figure 12: Profile de montée en escalier pour Profile de montée en palier des FL impairs et non RVSM
- Figure 13: Profile de montée en escalier pour Profile de montée en palier des FL impairs et RVSM
- Figure 14: Altitude optimale pour des étapes courtes
- Figure 15: Variation du RS en fonction du Mach pour une altitude donnée
- Figure 16: Mach LRC en fonction de la masse appareil
- Figure 17: Influence du vent sur le ground SR
- Figure 18: Courbe des coûts en fonction du mach
- Figure 19: Courbe du Mach Econ en fonction du niveau de vol

- Figure 20: Profil de descente
- Figure 21: Effet de la technique de descente sur le temps et la consommation carburant pour une distance de 115nm
- Figure 22: Effet de la technique de descente sur la montée et la consommation carburant pour une distance de 115nm
- Figure 23: Profil de descente prématurée
- Figure 24: Consommation carburant en fonction de la vitesse
- Figure 25: Effet de la technique de descente sur le flux carburant pour l'A300
- Figure 26: Effet de la technique de descente sur le flux carburant pour l'A310

- ◆ Tableau 1: Influence de la position du CG sur le RS
- ◆ Tableau 2: Influence du centrage avant sur la consommation carburant
- ◆ Tableau 3: Paramètres de vitesse pour différents types d'appareil
- ◆ Tableau 4: Effet de la vitesse de montée sur la consommation carburant
- ◆ Tableau 5: Effet de la vitesse de montée sur le temps
- ◆ Tableau 6: Influence de la poussée réduite sur le temps et la consommation
- ◆ Tableau 7: Pénalités du RS pour des déviations de l'altitude optimale
- ◆ Tableau 8: Paramètres de vol à l'altitude de croisement pour un secteur donné
- ◆ Tableau 9: Distances types de croisière dans une hauteur de 2000 ft d'altitude
- ◆ Tableau 10: Paramètres de temps carburant de la descente à FL350 pour différentes vitesses
- ◆ Tableau 11: Table de comparaison entre la descente en LRC et à 250 Kias
- ◆ Tableau 12: Différentes vitesses et configurations de l'attente
- ◆ Tableau 13: Effet du niveau de l'attente sur l'écoulement carburant en % par rapport à l'optimum
- ◆ Tableau 14: Economie carburant pendant la phase de pré vol
- ◆ Tableau 15: Economie carburant pendant la phase de vol
- ◆ Tableau 16: Paramètres annuels de différents Airbus
- ◆ Tableau 17: Diminution des coûts grâce à l'épargne de carburant pour différents types d'Airbus

Chapitre IV:

- ◆ Tableau 1: A330/A340 Cost Index
- Figure 1 : Relation entre le RS et le Mach
- Figure 2 : Variation du coefficient de transport en fonction de la distance

Chapitre V :

- Figure 1: Schéma du FMS
 - Figure 2: CDU A330-200
 - Figure 3: Image représentative de la base de données de navigation
 - Figure 4: Image représentative de la base de données de performance
 - Figure 5: Variation du coût vol en fonction du cost index et des coûts horaires
 - Figure 6: Variation du coût vol en fonction du cost index et du coût carburant
 - Figure 7: Mach Econ en croisière en fonction du CI pour l'A330-322/PW4158
 - Figure 8: Econ croisière Mach en fonction du CI A330-342/RR772
 - Figure 9: Mach Econ en fonction du niveau de vol
 - Figure 10: Profils de descente
 - Figure 11: Vitesses Econ de descente en fonction du CI
 - Figure 12: Paramètres de descente pour les mêmes points de croisière
-
- ◆ Tableau 1 : Exploitation du CI par le FMC en montée
 - ◆ Tableau 2 : Paramètres de descente pour les mêmes points de croisière
 - ◆ Tableau 3 : Paramètres du CI en descente

INTRODUCTION

Le monde de l'aéronautique et le secteur du transport aérien, a traversé une crise économique aiguë ces dernières années, spécialement après les événements du 11 septembre 2001, ce qui a conduit les responsables des compagnies aériennes à adopter une nouvelle politique de gestion, en élaborant des techniques méticuleuses de calcul des coûts.

Ce qui a conduit à l'apparition de nouveaux paramètres et références pour minimiser les dépenses superflues.

Dans cet environnement, les compagnies ont commencé à utiliser un nouveau concept de gestion nommé « cost index » ou « index de coût ».

Ce paramètre représente le rapport des coûts horaires liés à l'heure de vol sur le coût carburant, il en résulte une valeur comprise entre 0 - 999 reflétant la politique de la compagnie variant d'une étape à une autre.

Le cost index, est donc un élément important dans la réduction des coûts, de plus, il est non restrictif car aisément modifiable en fonction des paramètres de vols, ou de la stratégie compagnie.

A travers ce travail, nous allons nous familiariser avec le cost index, en définissant les éléments par lesquels il sera calculé, ainsi que ses fluctuations en fonction des différentes phases de vol, ainsi que les interfaces à travers lesquels il sera exploité.

Nous vous proposons, à travers cette étude, en plus d'une explication détaillée, une application pratique sous forme de logiciel, pour mieux comprendre les tenants et les aboutissants.

Chapitre I :
Presentation Compagnie-Appareil

Chapitre I : Présentation Compagnie-Appareil

I- a- Présentation de la compagnie :

I-1-HISTORIQUE ACTUALITES ET PERSPECTIVES :

I-1-2-HISTORIQUE :

-La compagnie Air Algérie est une Entreprise Publique Economique, société par actions au capital social de 14 000 000 000 de DA. Elle évolue en tant qu'entité autonome depuis février 1997, en vertu de l'acte notarié N°84 B 027 du 17 février 1997.

-Première Société National de Transport Aérien des passagers et du fret avec plus d'un demi-siècle de métier, les annales de l'Entreprise qui bat pavillon National sont marquées par des dates historiques :

- Depuis la fin de la 2^{ème} guerre mondiale, le réseau des lignes aériennes entre l'Algérie et la France était desservi par la société « Air Transport ».
- En 1947, Air Algérie est née dans le but d'exploiter ce même réseau.
- Le 23 Mai 1953, après la fusion des deux compagnies, le transport aérien entra officiellement en activité.
- Après l'indépendance de l'Algérie, en Janvier 1963, Air Algérie devient une compagnie Nationale sous tutelle du Ministère des transports qui control pour le compte de l'Etat Algérien qu'il représente, 51% du Capital de la Compagnie.
- En 1970, les parts contrôlées par l'état algérien atteignent 83% du Capital et la Compagnie. Air Algérie procède au renouvellement de sa flotte.
- Le 26 Mars 1971 est une date historique pour l'entreprise. Venant de Seatel (USA), deux Boeing 727-200 arrivent à Alger dotés des perfectionnements techniques et commerciaux les plus récents.
- Deuxième date historique, le 15 Décembre 1972, l'état algérien détient 100% des parts d'Air Algérie. Cette Nationalisation, au même titre que celle des hydrocarbures devient effective en 1974, date à laquelle l'état porte sa participation effective à 100% par le rachat des 17% encore détenus par Air France.
- En 1973, l'état décide d'intégrer à Air Algérie, la Société de Travail algérien « STA ».
- Pendant la décennie 1980, la flotte s'enrichit d'une race d'avion « Air Bus » de type gros porteur, parfaitement adapté à l'exploitation de certaines lignes génératrices d'un fort courant de trafic tel que Alger - Paris.
- En 1983, compte tenu de la croissance du trafic intérieur, le Transport Aérien sur les lignes intérieures et le travail aérien sont confiés à une nouvelle Entreprise « Entreprise Nationale d'Exploitation Aérienne de Transport intérieur et de Travail Aérien -Inter Air Service », scindant Air Algérie en deux

entités distinctes :L'une pour les lignes intérieures, l'autre pour les lignes internationales. Mais celle- ci disparaît après dix mois de fonctionnement.

I-1-2-ACTUALITE ET PERSPECTIVES :

-En date du 17 février 1997, la compagnie est passée du statut de « Société Nationale de Transport et de Travail Aérien » à celui « d'Entreprise Publique Economique, Société par actions, EPE / SPA ».

- **Dénomination :** Air Algérie.
- **Siège social :** 1, place Maurice Audin Alger.
- **Capital social :**
 - 2 500 000 000 DA en 1997.
 - 6 000 000 000 DA en 2000.
 - 14 000 000 000 DA en 2002.

- En Juin 1999, à travers un plan d'action audacieux, la compagnie s'engage dans une dynamique de changement exprimé à travers :

- le renouvellement de sa flotte par l'acquisition d'une douzaine d'aéronefs de type 737-600 et 800 de nouvelle génération.
- La modernisation, la mise à niveau et la préparation à la certification aux normes internationales de son organisation son fonctionnement et de ses structures.
- La mise à niveau de son potentiel humain.

I-2-LES MISSIONS :

La mission principale d'Air Algérie est le transport des passagers, bagages, fret et courriers dans les conditions optimales de confort et de régularités et de sécurité. De ces principales missions découlent les activités suivantes :

I-3 -LES ACTIVITES :

Les activités de l'entreprise Air Algérie telles qu'elles sont définies par le décret n° 83-621 du 05 Octobre 1983 sont :

I-3-1-Au niveau Entreprise :

L'exploitation des lignes aériennes intérieures et internationales en vue de garantir les transports publics de personnes, de bagages, des frets et de courriers.

I-3-2-En matière de gestion et d'exploitation :

I-3-2-1-Dans le domaine des activités commerciales :

La vente et l'émission de titres de transport pour son compte ou le compte d'autre entreprise.

- L'achat, l'affrètement d'aéronefs.
- La présentation, l'assistance commerciale et toutes présentations en rapport avec son objet.
- L'avitaillement des avions.

I-3-2-2-Dans le domaine de l'assistance aéroportuaire :

-La gestion, l'entretien et le développement des installations destinées au public et aux opérations de fret.

L'exploitation et la mise à la disposition des opérations, au sein des aéroports, des moyens généraux nécessaires.

-L'exploitation et la gestion des installations en vue de promouvoir les présentations commerciales, l'hôtellerie autres commerces dans les aéroports.

I-3-2-3-En matière d'exploitation technique :

-L'obtention de toutes licences, tous permis de survol et toute autorisations des états étrangers nécessaires à l'accomplissement de sa mission.

-L'accomplissement des opérations d'entretien et de réparation, de révision et toutes opérations de maintenance des équipements et des types d'aéronefs soit pour son compte, soit pour le compte des compagnies étrangères dans le cadre de conventions d'assistance.

EN RESUME :

-Les ressources de la compagnie sont générées également par d'autres activités en plus de celles des passagers à savoir :

1. Fret.
2. Travail aérien.
3. Maintenance aéronautique.
4. Hôtellerie.
5. Assistance au sol.

I-4 –LES MARCHES :

- Les marchés d'Air Algérie sont constitués de quatre principales activités :
- Le marché de transport aérien régulier international.
 - Le marché de transport aérien régulier national.
 - Le marché de transport de fret.
 - Le marché de travail aérien (cette activité est transférée entièrement à Tassili Airlines à compter de 2002).

I-4-1- Le marché de transport aérien international :

Ce marché est composé de quatre sous –marchés :

- Marché Europe.
- Marché Maghreb -Moyen Orient.
- Marché Afrique.
- Marché France.

I-4-2-Le marché de transport aérien domestique :

Le marché domestique (réseau intérieur) est structuré en deux zones géographiques définies comme suivant :

ZONE NORD- NORD.
ZONE NORD-SUD.

I-4-3- Le marché de transport aérien fret :

Il y a deux types de marché fret :

- le fret qui est transporté sur les vols réguliers passagers.
- le fret cargo constituant une activité semi –autonome réalisée par vols régulier et non réguliers « charters ».

Ce marché concerne à la fois le réseau domestique, le réseau international est réparti sur trois régions principales : L'EUROPE de l'Ouest, L'EUROPE Centrale, la Méditerranée.

I-5- ORGANISATION :

L'Entreprise Publique Economique, Société par Actions LPE / SPA, dénommée Air Algérie, exerce ses activités de transport aérien de passagers et du fret à travers l'organisation suivante :

I-5-1-Composition de la Direction Générale :

- Un staff de spécialistes assistants et conseillers.
- Une cellule communication.
- Une inspection Générale (siège et Exploitation).
- Une Direction de la Sûreté Interne de l'Entreprise.
- Un Secrétariat Général chargé de la coordination.
- Une Sous -Direction des Moyens généraux.

I-5-2. Des Directions Centrales, réparties par nature d'activités :

- Des Directions Fonctionnelles
 - Direction Planification et Contrôle de Gestion **DPCG.**
 - Direction Financière **DF.**
 - Direction Ressources Humaines **DRH.**
 - Direction Affaires Juridiques **DAJ.**
 - Direction Informatique et Télécommunications **DIT.**
 - Direction Commerciale **DC.**
 - Direction Promotion des œuvres Sociales **DPOS.**
- Des Directions Opérationnelles
 - Direction Opérations Aériennes **DOA.**
 - Direction Transports **DTR.**
 - Direction Fret **DFret.**
 - Direction Catering **DCatering.**
- Des Techniques
 - Direction Technique **DT.**
 - Direction Projet Base Maintenance **DPBM.**
 - Direction Logistique **DL.**

I-5-3. Des Unités de base opérationnelles réparties en zones géographiques :

En Algérie :

-Des directions Régionales, Délégations Régionales et Agences, réparties à travers un réseau intérieur de 29 escales nationales et 98 agences.

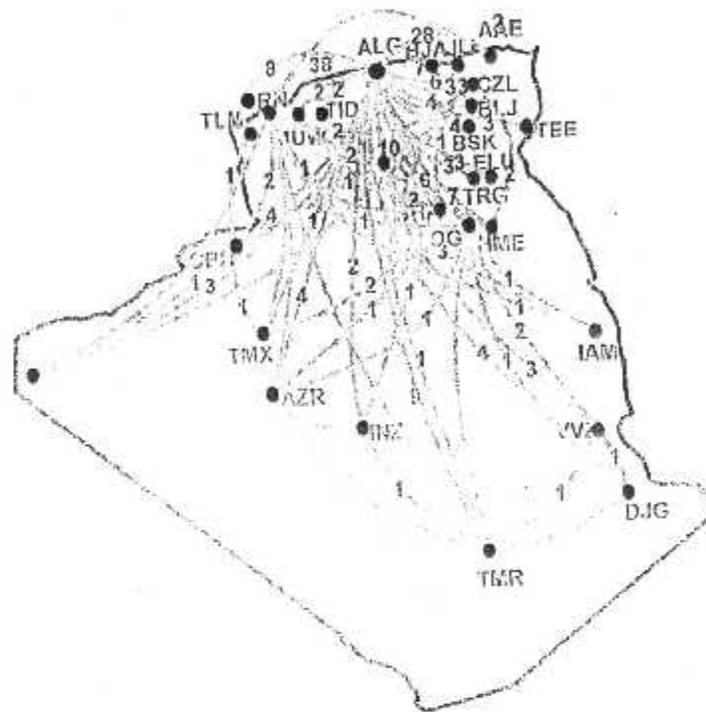


Figure 1: réseau domestique

A l'étranger :

-Des Représentations générales, Délégations et Agences réparties à travers un réseau international de 37 escales internationales et 43 agences ou délégations à l'étranger.

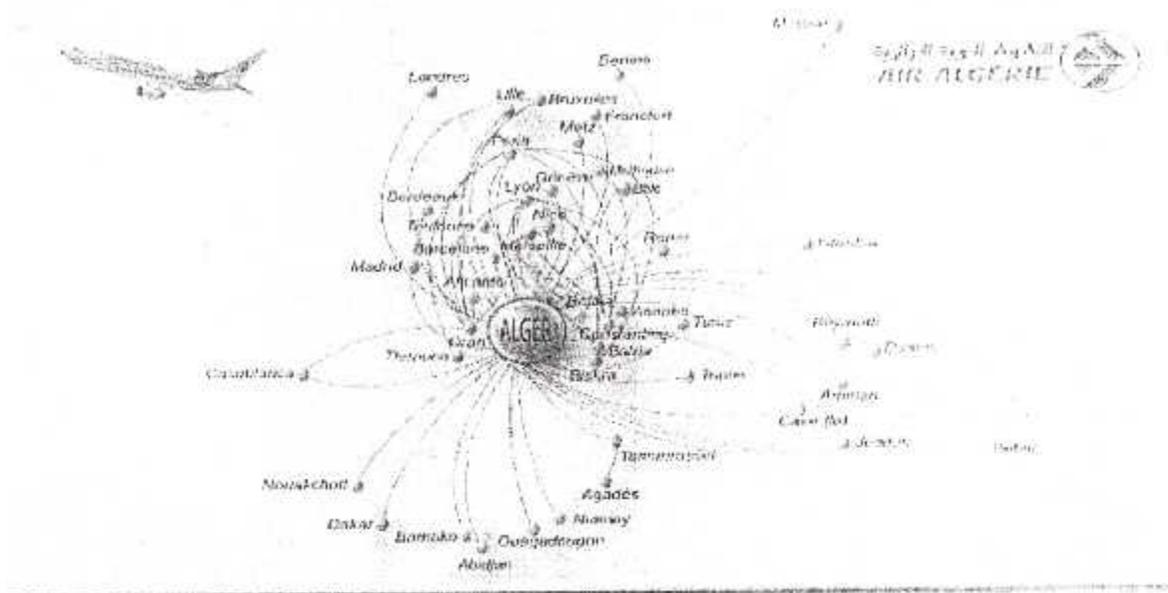
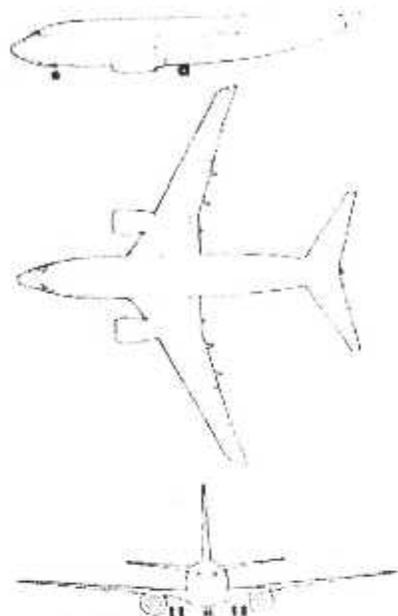


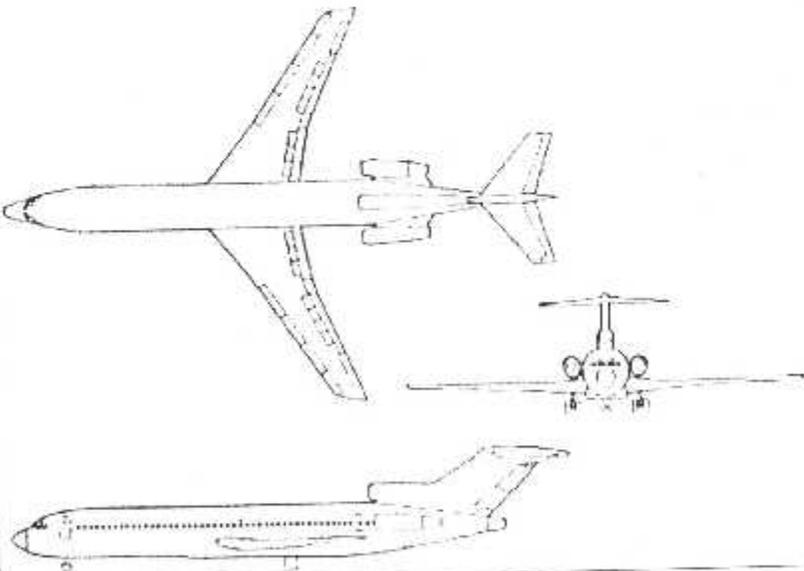
Figure 2: réseau international

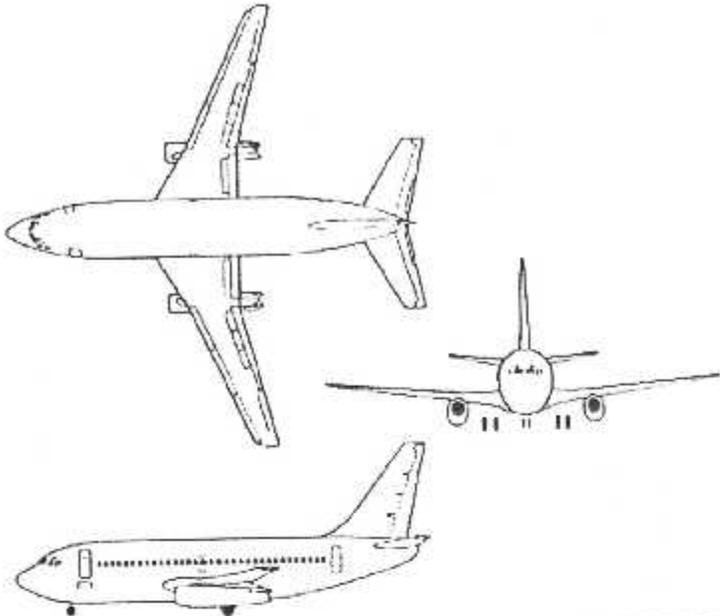
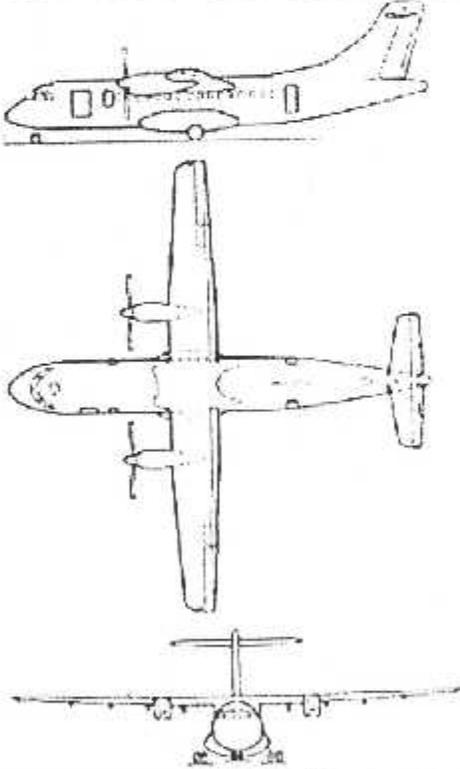
I-6- Composition de la flotte d'AIR ALGÉRIE:

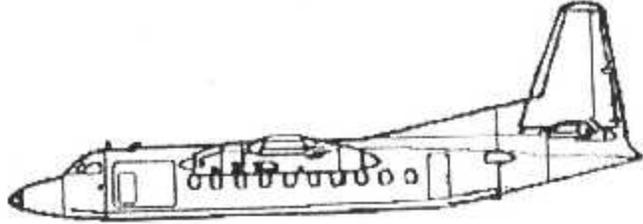
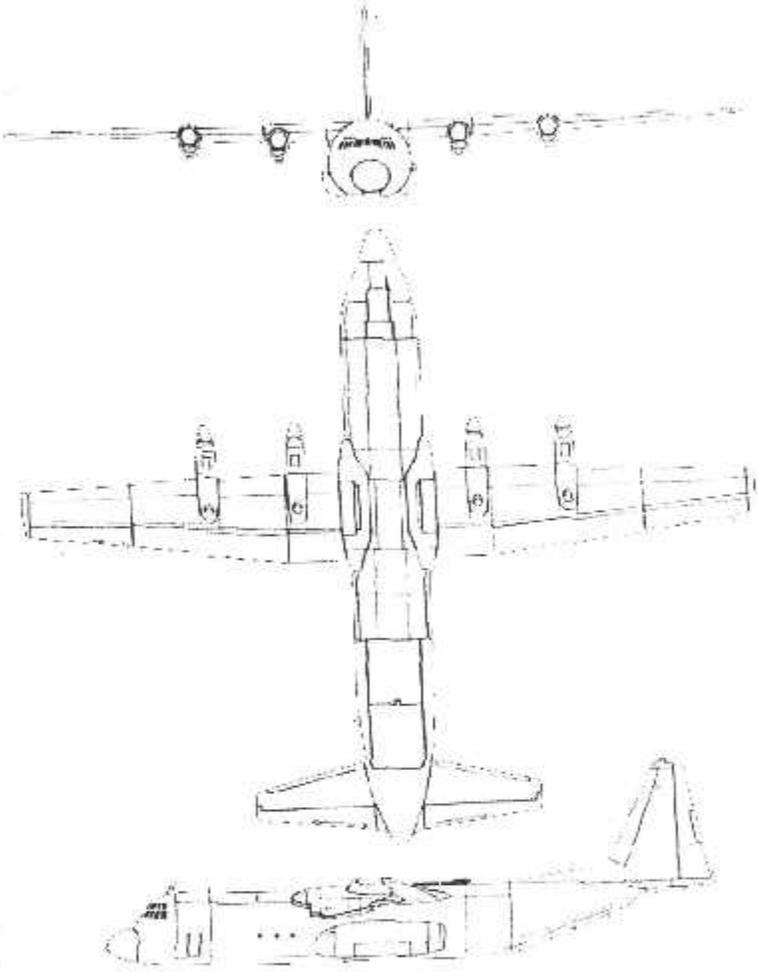
TYPE	NOMBRE	
A330-200	5	

<p>B767-300</p>	<p>3</p>	
<p>B737-800</p>	<p>10</p>	

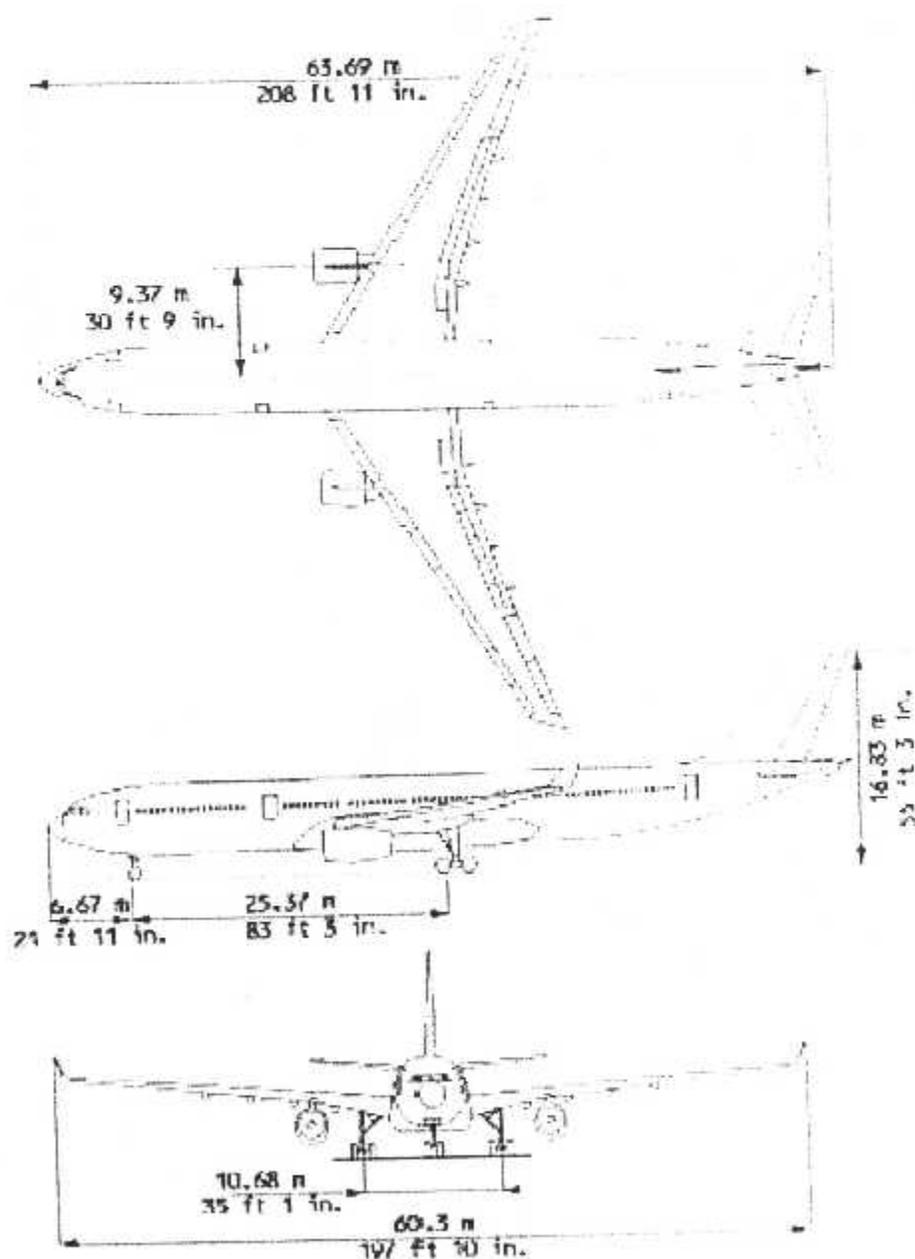
B737-600	5	
-----------------	----------	--

B727-200	2	
-----------------	----------	--

<p>B737-200</p>	<p>3</p>	
<p>ATR72-500</p>	<p>9</p>	

<p>FOKKER 27</p>	<p>3</p>	
<p>LG38202 HERCULE</p>	<p>2</p>	

I-B- Présentation de l'appareil :



b-1-Historique de l'A330-200

Lancé en 1995, l'A330-200, leader incontesté de sa catégorie, a engrangé 268 commandes émanant de 29 clients . Le biréacteur le plus long-courrier de la famille Airbus en service a enregistré 218 commandes depuis le lancement du 767-300ER, son concurrent direct, qui totalise 37 commandes, d'ores et déjà livrées, de deux clients (américains) seulement. Ces chiffres illustrent le remarquable succès de l'A330-200 sur le marché.

L'A330-200 fait partie de la famille des gros porteurs d'Airbus, développé pour des vols long moyen courrier en remplacement du A300-600R c'est le concurrent direct du 767-300ER.

Le programme de développement de l'A330 a démarré en Novembre 1995 ,les tests en vol ont commencé le 13 août 1997 avec les pilotes de test William Wainwright et Bernd Schäfer . Le premier A330-200 était équipé par des moteurs General Electric CF6-80E1 mais d'autre variants sont équipées des Pratt & Whitney et de Rolls-royce . La certification type FAA et JAA ont été effectués le 31 mars 1998 après 169 vols et 380 heures de vol.

L'A330-200 est basé sur l'A330-300 et partage les même systèmes, cellule, cockpit , voilure ,la seule différence réside dans la longueur du fuselage qui est un peu plus court 59.00m (63.70m pour le 300) ,ce qui permet une configuration de 256 passagers en 3 classes ou 293 en 2 classes .

A cause de cette nouvelle longueur l'A330-200 dispose d'un plus grand empennage horizontal et vertical pour pallier au raccourcissement du bras de levier ,un autre changement très important est l'installation d'un réservoir central de carburant qui augmente sa capacité est lui permet d'avoir un rayon de 12000km.

Cet appareil peut facilement desservir sans escale des villes telles que San Francisco, Lima ou Singapour, Tokyo aussi , au départ de Paris.

b-2-Enjeux économiques de l'A330-200

Airbus a abordé un segment du marché qui s'amplifie à mesure que les compagnies aériennes remplacent leurs flottes de biréacteurs et triréacteurs d'ancienne génération opérant sur les routes continentales et intercontinentales. Airbus estime à environ 3 000 le nombre d'avions qui seront nécessaires pour desservir ces routes au cours des vingt prochaines années et, en cela, l'A330-200 répond mieux aux exigences du marché en termes d'autonomie et de rentabilité que n'importe quel autre avion actuellement disponible sur le marché.

Si les passagers apprécient les formidables avantages de cabines plus spacieuses, il en va de même pour les expéditeurs de fret. Le surcroît de capacité de la soute signifie que les compagnies peuvent transporter un volume supérieur de fret et dégager des recettes supplémentaires. Les soutes de l'A330-200 peuvent recevoir davantage de fret palettisé, ainsi que des conteneurs standard LD-3, sur deux rangées. Notons que les

avions concurrents ne peuvent transporter que des conteneurs non-standard, ce qui occasionne notamment des problèmes de manutention au sol.

L'A330-200 offre également des options novatrices permettant de rehausser à la fois le confort en cabine et la souplesse opérationnelle. Sur le pont inférieur de l'A330-200, les clients peuvent prévoir des installations de repos équipage modulaires, dotées de lits-couchettes pour les vols long-courriers. Il est aussi possible d'y installer des toilettes, ce qui libère de l'espace pour des sièges supplémentaires en cabine, tout en créant un environnement plus agréable pour les passagers.

Le créneau ciblé par l'A330-200 est un marché aux exigences multiples, qui s'étend des services réguliers et charters court- et moyen-courriers aux opérations long-courriers en configuration triclasse entre la côte ouest de l'Amérique du Nord et l'Europe, ou entre l'Europe et l'Asie.

L'A330-200 est parfaitement adapté à ces lignes, où il se distingue par un confort et une rentabilité hors pair grâce à sa technologie de pointe, la conception optimisée de sa voilure et sa faible consommation de carburant, alliée à une cabine et une cellule sans pareille.

La voilure de l'A330-200 présente le nec plus ultra en termes de matériaux, structures et commandes de vol électriques, et se démarque ainsi par une efficacité et des performances maximales. Avec une vitesse de croisière type de Mach 0,82 et une poussée allant jusqu'à 71 000 lbs (316 kN) par réacteur, l'A330-200 offre les meilleures performances au décollage de tous les appareils de sa catégorie. Notons aussi sa parfaite adéquation aux infrastructures aéroportuaires et aux conditions de pistes les plus variées, et ce même avec une pleine charge de passagers et de fret.

L'A330-200 est disponible avec un choix de trois réacteurs : le CF6-80E1 de General Electric, le Trent 700 de Rolls-Royce et le PW4000 de Pratt & Whitney.

L'A330-200 bénéficie en outre du concept de communauté qu'Airbus applique à tous ses appareils à commandes de vol électriques. Tous les membres de cette famille, de l'A318 de 107 sièges à l'A340-600 de 380 places, partagent le même poste de pilotage et, grâce à la technologie des commandes de vol électriques, les mêmes caractéristiques de pilotage, permettant ainsi aux équipages de piloter n'importe quel modèle moyennant un complément de formation mineure.

Caractéristiques techniques de L'A330-200 :

Longueur	59.0m
Envergure	60.3m
Hauteur	17.89m
Capacité PAX/charge offerte	256 en 3 classes ou 293 en 2 classes, ou 380 en une seule classe. Compartiments cargo avant et arrière Charge: 26 containers LD3 (19.7 cu. m) ou 6 palets fret + bagages. C/O MAX 36.4 tonnes.

Masses	Operating Empty CF6-80E1-A2 120,150 kg (264,875 lb) PW4164 120,750 kg (266,200 lb) Trent 7xx 120,250 kg (265,150 lb) Max. Take-Off 230,000 kg (507,050 lb) Max. Landing 180,000 kg (396,825 lb)
Rayon Spécifique	12 300 Km Max. Range 7,900 km (4,193 miles / 4,266 nm) w/ 253 passagers & 23.7 tonnes of cargo 9,900 km (6,157 miles / 5,346 nm) w/ 380 passagers 12,000 km (7,453 miles / 6,480 nm) w/ 253 passagers
Capacité Carburant	139 090 l
Altitude MAX	41 100 ft
Autonomie	12 heures (6000nm)
Equipage	2+8
Vitesse	Max. Cruise Speed 926 km/h (576 mph / 500 kts) 880 km/h (550 mph / 475 kts) @ 10,058 m (33,000 feet) Econ. Cruise Speed 860 km/h (538 mph / 478 kts)
Distances	Take-off Distance 2,713 m (8,900 feet) @ 230t @ sea-level ISA +15°C Landing Distance 1,720 m (5,643 feet) @ 180t @ sea-level ISA +15°C
Moteurs	2 x General Electric CF6-80E1-A2 turbofans, or 2 x Pratt & Whitney PW4164 turbofans, or

	2 x Rolls-Royce Trent 768 turbofans, or 2 x Rolls-Royce Trent 772 turbofans
--	--

Chapitre II : coût d'exploitation

Chapitre II : coûts d'exploitation

II-1-INTRODUCTION :

- La congestion de l'espace aérien, et l'apparition de nouvelles compagnies aériennes avec une stratégie concurrentielle agressive ,ont amené les compagnies aériennes mondiales a établir des plans de réduction des coûts d'exploitation du fait de diminution de leur marges de bénéfices .
- La garantie de l'efficacité de cette manœuvre,dépend d'une étude rigoureuse et approfondie de tous les coûts directs ,indirects ,et fixes ,afin d'optimiser les dépenses de la compagnie au strict minimum ;on va étudier dans ce chapitre les différents coûts influençant l'exploitation d'une compagnie aérienne ,sans pour autant donner les solutions pour les réduire.
- Il existe deux sortes de coûts :
 - coûts directs
 - coûts indirects

II-2-DEFINITION DES COÛTS D' EXPLOITATION :

-Sans rentrer dans des formules mathématiques compliquées, on peut constater que le coût total est la somme des coûts fixes et variables, représentés dans cette équation :

$$C = CF \times \Delta F + CT \times \Delta T + Cc$$

CF = coût du fuel par kg.

CT = coût horaire par heure de vol.

Cc = coût fixes.

ΔF = délestage.

ΔT = temps de vol.

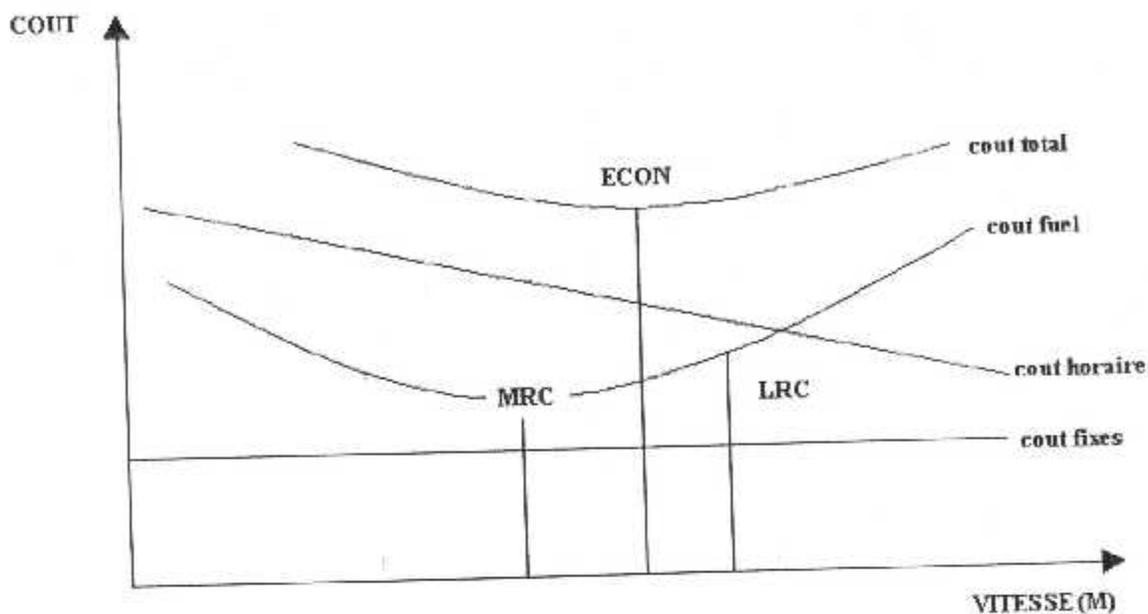


Figure 1 : Variation du coût en fonction du mach

-Afin de minimiser C (coût total), on doit réduire les coûts variables.

$$CF \times \Delta F + CT \times \Delta T$$

-Pour une période et un secteur donné, on assume que le prix du carburant est fixe.

-Considérons la fonction suivante:

$$\tau = C/CF = \Delta F + CT/CF \times \Delta T$$

avec $CT/CF = CI$ (CI: cost index)

-Pour une longueur d'étape 'S':

$$\tau(1 \text{ nautical mile}) = 1/RS + CI \times 1/V$$

Avec RS: rayon spécifique à un poids, altitude donnés.

$$RS = \Delta S/\Delta F \text{ (nautical miles par kg)}$$

-Avec 'V' étant la vitesse sol, couvrant la distance 'S', en considérant le vent.

$$V = a M + V_c \text{ (} V_c \text{: moyenne de la composante debout ou arrière du vent)}$$

-Pour un secteur donné, le coût minimum est atteint en adoptant une vitesse opérationnelle, qui réalise le meilleur compromis coût carburant, coût horaire.

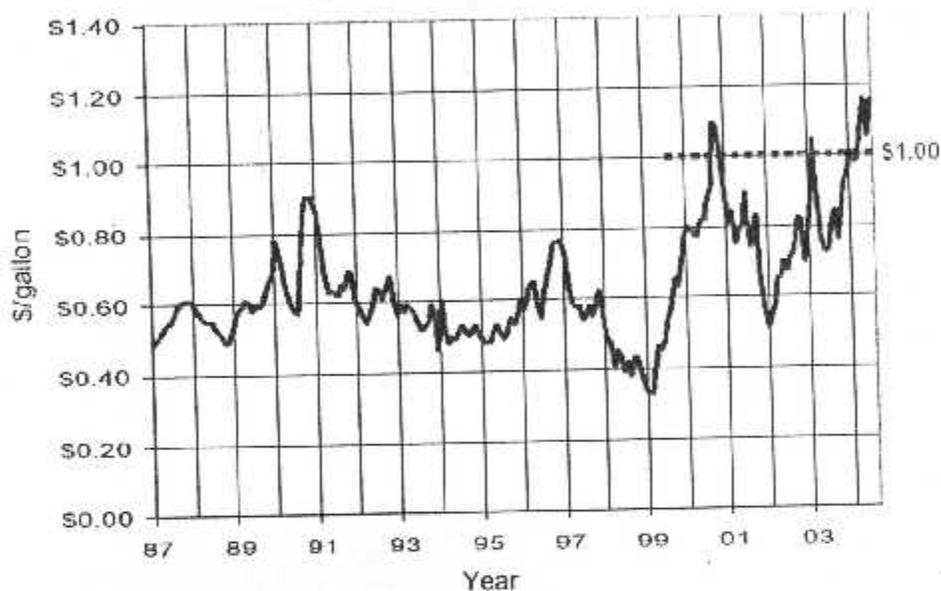
-cette vitesse porte le nom de **mach à prix de revient minimum 'Mprm'**

II-2-1-COUTS DIRECTS :

Il se résume :

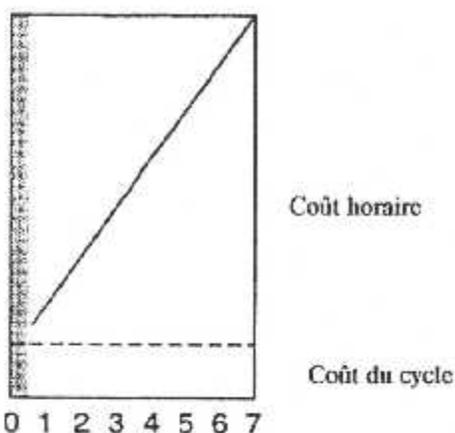
- **Carburant et huile** : représente 27% des coûts directs du à la flambée des prix du pétrole liés aux derniers évènements.

Figure 2 : EVOLUTION DU PRIX DU CARBURANT



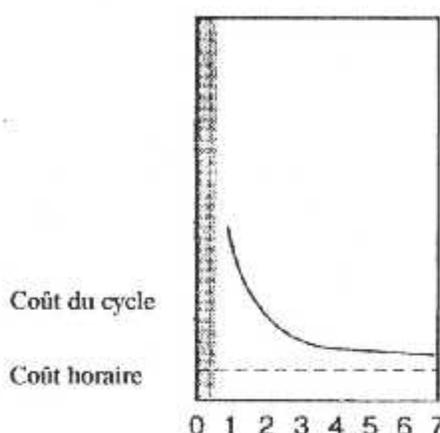
- **Maintenance** : représente 15% des dépenses comportant le prix de main d'œuvre ainsi que les pièces de rechange.
 - Coûts en pièces de rechange des moteurs.
 - Coûts de main d'œuvre pour l'entretien moteurs par heure de vol.
 - Coûts en pièces de rechange de structure.
 - Coûts de main d'œuvre pour l'entretien de la structure/heure de vol.
 - Ces dépenses varient selon la stratégie de la compagnie qui choisira d'effectuer elle même la maintenance ou, de l'attribuer à une autre compagnie ou organisme compétent .

Coût maintenance par vol



Longueur d'étape moyenne (heures)

Coût maintenance par heure de vol



Longueur d'étape moyenne (heures)

- **Salaires d'équipage**: 12% des dépenses, incluant les salaires du personnel navigant.

-Rémunération du personnel navigant technique et commercial.
-Primes par heure de vol.

Dépendent également de la nature du vol (domestique, international), ainsi que du type d'appareil utilisé.

- **Frais de location (leasing)** : 12%, représentent les frais de location wet lease ou, dry lease .
-dry lease : l'aéronef sera exploité entièrement par la compagnie (équipage et entretien).
-wet lease : l'appareil sera affrété avec l'équipage, et la maintenance sera assurée par la compagnie propriétaire de l'appareil.
- **Manutention et Dispatch** : 11%, chargement des bagages, nettoyages cabines... etc. En ce qui concerne le dispatch, il se résume en la préparation des plans de vol, des feuilles de centrage... etc.
- **Services passagers** : 8%, concerne la taxe appliquée pour l'acheminement des passagers, l'accueil, le tri des bagages, et la sécurité, elle peut être appliquée au départ ou à l'arrivée des passagers .
- **Frais de navigation** : 5%, comporte les charges de gestion de trafic, et droit de survol des différentes FIR, les tarifs sont publiés par les services de contrôle de la navigation aérienne .

- Ces frais sont calculés en fonction de :
- la masse maxi décollage.
- la longueur de l'étape.
- le taux unitaire.

- **Commissions :5%**,c'est les frais attribués au paiement des différentes commissions, chargées de la sécurité et du contrôle de la compagnies(généralement étatique).
- **Redevances aéroportuaires :4%**,frais liés aux droits d'atterrissage, parking, bruit, balisage, sûreté ,et entretien des pistes.

- les frais d'atterrissage sont calculées en fonction de :
- la masse maxi décollage de l'avion.
- la nuisance sonore.

- Pour le stationnement ,les frais sont calculés en fonction de :

- masse maxi décollage.
- dimension de l'avion.
- durée d'occupation.

- pour les redevances de sûreté, elles se basent sur :

- le nombre de passagers.
- la masse maxi décollage.

- **Assurances** : représente 1% des coûts, il existe différents types d'assurance.

-Types d'assurances :

L'assurance aviation est un large secteur, et il y a différents types d'assurance disponibles. Dans le contexte d'un financement d'avion, les principales formes d'assurances sont :corps, passager et responsabilité, et assurance de guerre et périls alliés.

a- Assurance Corps avion :

Elle est conçue pour protéger la compagnie et l'assurer contre des pertes éventuelles ou les dommages avions provoqués par des risques incendies, vol, et collision, y compris les moteurs et d'autres composants.

b- Assurance responsabilité Passager :

L'assurance responsabilité passager garantit à la compagnie le paiement des dommages corporels (mortels ou autres) aux passagers qui sont transportés par la compagnie aérienne. Ainsi que des dommages affectant les passagers lors de l'opération d'embarquement et de débarquement. Elle couvre également la responsabilité légale des assurés pour la négligence de ses employés .

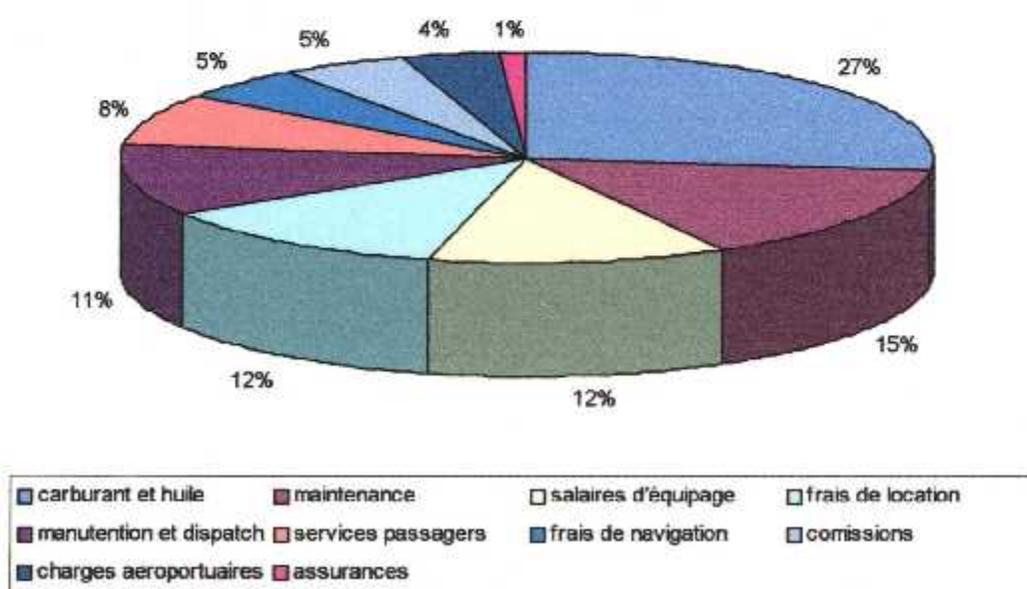
c- Assurance Responsabilité Civile :

Cette forme d'assurance couvre la responsabilité légale de la compagnie aérienne envers des tiers - autre que des passagers pour les dommages causés aux personnes ou à leur propriété résultant de l'exploitation d'un avion. L'assurance inclut, *entre autres*, la perte ou des dommages causés à un autre avion et à ses occupants en vol ou au sol causant des dommages aux tiers pendant le roulage.

d- Assurance en cas de Guerre et risques associés :

-Y compris le détournement et les actes de terrorisme, qui représentent un risque extrêmement important aux assureurs. Ainsi que les risques, d'invasion, les hostilités, la guerre civile, la rébellion, la révolution, l'insurrection, la loi martiale, les grèves, les émeutes, les agitations civiles ou les perturbations de travail, les actes à caractère politique ou terroriste, le sabotage, la confiscation, la nationalisation, la saisie, et détournement.

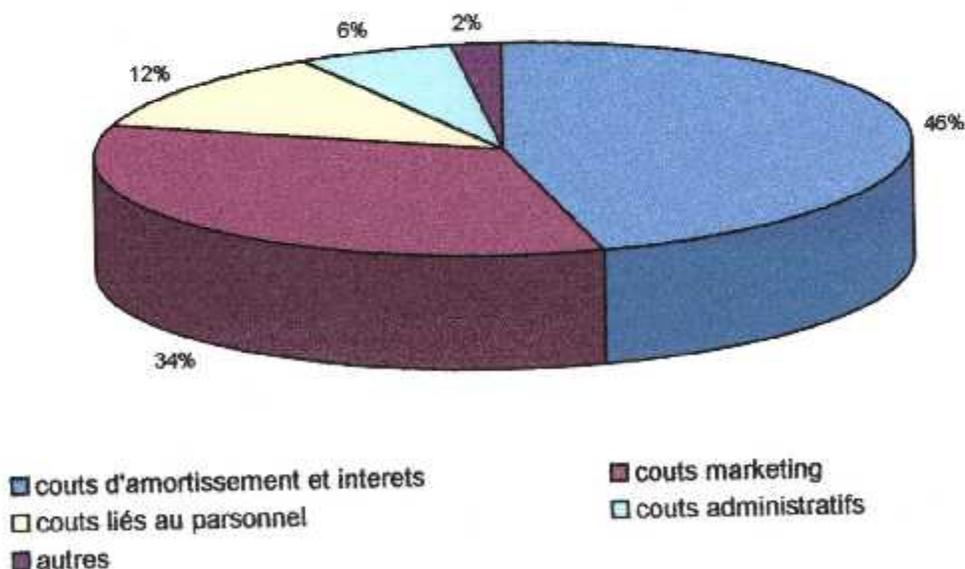
Figure 3 :COUTS DIRECTS



II-2-2-COUTS INDIRECTS :

- **Coûts d'amortissement et intérêt :** 46% des coûts liés à l'amortissement du prix d'achat de la flotte et son renouvellement, ainsi que les intérêts des banques finançant l'achat.
- **Coûts marketing :** 34%, représente les frais de publicité et communication.
- **Coûts lié au personnel :** 12%, comporte essentiellement les salaires des employés de la compagnie à l'exception du personnel navigant.
- **Coûts administratif :** 6%, c'est les coûts liés à la gestion des tâches administratives.
- **Autres :** 2% , coûts divers.

Figure 4: COUTS INDIRECTS



II-3-CONCLUSION:

- Ce chapitre, nous a permis d'avoir une vue d'ensemble sur les différents coûts, auxquels une compagnie doit faire face.
- Les pourcentages sont établis à partir des données de l' IATA 2001 ,avant les attentats du 11 septembre ,après ces événements ,la proportion des dépenses en assurances ont vu une augmentation exponentielle qui ont contraints certaines compagnies à déposer le bilan.
- Une bonne connaissance des différentes dépenses, implique une meilleure gestion de la compagnie afin de maximiser le profit.
- Les derniers événements qui se sont produits au golf ,ont largement contribué à la fluctuation du prix du carburant ,ce qui a incité les compagnies à surveiller d'avantage leur consommation , les différentes méthodes de conservation du fuel seront détaillées dans le prochain chapitre .
- La maintenance et l'amortissement sont également des facteurs importants dans la gestion financière d'une compagnie du fait qu'ils influent directement dans la subsistance de la flotte et par conséquent de la compagnie.
- Un coefficient regroupant tous ces intervenants, permet de réaliser le meilleur compromis et de réguler les dépenses qui interviennent directement lors du vol ,et par effet de conséquence d'avoir le meilleur profit ,ce coefficient est connu sous le nom "cost index"

Chapitre III :
Economie Carburant

Chapitre III : Economie carburant

III-1-INTRODUCTION :

-Le marché concurrentiel et la déréglementation de l'aviation et la crainte de la flambée des prix de carburant a fait que les compagnies aériennes ont réalisé l'importance du travail sur la consommation carburant de leur flotte.

-En effet les compagnies aériennes essayent de réduire leurs coûts opérationnels dans chaque domaine d'activité, l'économie du carburant est devenue l'une de leurs préoccupations principales. C'est pourquoi tous les moyens de réduction des coûts carburant doivent être envisagés, la sécurité étant naturellement la priorité de n'importe quelle opération aérienne.

- Le but de notre travail est d'examiner l'influence des techniques des opérations aériennes sur l'économie carburant en vue de fournir des recommandations et procédures afin de mieux gérer la consommation, qui reste importante mais n'est cependant pas la seule priorité .

- De tels exemples doivent maximiser le rayon d'action pour une charge utile donnée, ou diminuer l'avitaillement en carburant dans un aéroport à coût carburant important.

-Généralement le carburant est considéré comme l'un des frais directs d'exploitation c'est pourquoi les compagnies aériennes essaient de le réduire au minimum des coûts d'exploitation directs.

Ceci introduit le concept de l'index de coût « COST INDEX » .

Le cost index peut être exploité en deux modes :

- le mode "gestion" et le mode "sélection".

Le mode 'gestion' correspond à la gestion de vol à l'aide du système de gestion de vol (FMS). l'unité de commande et de visualisation (MCDU) sert d'interface avec l'équipage pour introduire des variables de base telles que le poids, la température, l'altitude, les vents, et l'index de coût.

Grâce à ces données, le FMS calcule les divers paramètres de commande de vol tels que les régimes de montée, la montée en paliers 'step climbs', le mach économique, l'altitude optimale, et le régime de descente. Par conséquent, une fois activé, ce mode permet la gestion pseudo-automatique du vol ; les données de performances de l'avion sont extraites à partir de la base de données du FMS, Cette dernière est simplifiée pour alléger les opérations et la densité de calcul dans le système, mais les différents

facteurs de performances avion peuvent effectuer de bonnes corrélations avec la consommation réelle de carburant.

- Quand au mode 'sélection', l'équipage effectue le vol et gère ses paramètres tels que la vitesse, l'altitude, et le cap d'une manière manuelle à travers l'unité de commande de vol Flight Control Unit (FCU).

- L'index de coût (CI) utilisé dans le mode 'gestion' fournit un outil flexible pour le control de la consommation carburant et le temps de vol, afin d'obtenir les meilleures combinaisons économiques.

La réduction de la consommation carburant entraîne une augmentation du temps de vol. Par conséquent l'économie de carburant est inversement proportionnelle aux coûts horaires (les coûts maintenance par heure, coûts PN, des coûts de location marginaux).

L'index de coût est le coût horaire (\$/min) par le coût carburant (\$/kg), il est employé pour obtenir les meilleures marges d'économie.

- Si les coûts carburant sont importants (car plus significatifs que les coûts horaires), l'index de coût serait bas, et le FMS afficherait un mach proche du mach maximum range (MMR).

Cependant si le coût carburant est très bon marché comparé au coût horaire, la vitesse serait importante, le CI serait élevé, et le FMS afficherait une vitesse juste au-dessous du MMO.

Les meilleures marges économiques seraient entre ces deux vitesses et dépendraient de la structure du coût de l'opérateur et des priorités de fonctionnement.

III-2-PROCEDURE PRE-VOL EN VU DE DIMINUER LA CONSOMMATION:

III-2-1- POSITION DU CENTRE DE GRAVITÉ :

1. INTRODUCTION :

Le poids brut est la somme de: la masse opérationnelle, la charge utile et le carburant. Il agit comme une seule force au niveau du centre de gravité (CG) de l'avion.

La feuille de centrage permet la détermination du centre de gravité global tout en tenant compte du centre de gravité de l'avion à vide, de la distribution de carburant et de la charge utile.

On doit s'assurer que le centre de gravité est toujours contenu dans une plage désignée par le constructeur qui porte le nom de "l'enveloppe du centre de gravité".

Un centrage trop en avant exige une réduction de la portance de l'empennage horizontal, compensé par plus de portance de l'aile. Ceci crée la traînée induite et mène à une augmentation de la consommation carburant.

-Il est préférable d'avoir un centrage arrière, Car une variation vers l'arrière dans la position de CG détériore la stabilité dynamique de l'avion, tout en augmentant sa maniabilité c'est pourquoi une limite arrière est définie .

2. GESTION AUTOMATIQUE DU CENTRE DE GRAVITÉ :

Airbus a créé un système de transfert de carburant '**trim tank transfer**' (transfert au réservoir de compensation) qui agit sur le centre de gravité de l'avion. Ce système est installé sur certains avions A300 et A310 et tous les A330 et A340.

Quand un avion avec un **trim tank** (réservoir de compensation) est en croisière, le système optimise la position du centre de gravité pour économiser le carburant en réduisant la traînée de l'avion. Le système transfère le carburant au trim tank (transfert arrière), ou à partir du trim tank (transfert vers l'avant).

Ce mouvement de carburant change la position du centre de gravité. Le pilote peut également choisir le transfert de carburant vers l'avant manuellement.

L'ordinateur de commande et de gestion de carburant (FCMC) FUEL CONTROLE AND MANAGEMENT COMPUTER calcule le centre de gravité de l'avion à partir de divers paramètres comprenant les valeurs d'entrée (masse max sans carburant ou la masse au décollage brute et le CG associé) et le contenu des réservoirs, il calcule sans interruption le CG en vol.

De ce calcul, le FCMC décide de la quantité de carburant placé à l'arrière ou à l'avant en vol pour maintenir le CG à la position calculée .

Habituellement un transfert arrière initial de carburant est effectué tard dans la montée pour apporter le CG dans cette position.

Pendant le vol il y a plusieurs plus petits mouvements vers l'avant car la consommation de carburant déplace le CG plus à l'arrière.

Enfin un transfert vers l'avant est fait pendant que l'avion s'approche de sa destination pour apporter le CG dans la marge CG à l'atterrissage.

3. INFLUENCE SUR LA CONSOMMATION CARBURANT :

Le graphique suivant montre le changement de la consommation de carburant, exprimée en termes de rayon spécifique (nm par kilogramme de carburant), pour une plage allant de 20% (centrage avant) et 35% (centrage arrière) .

La position du CG est comparée à une **position médiane de 27%** .

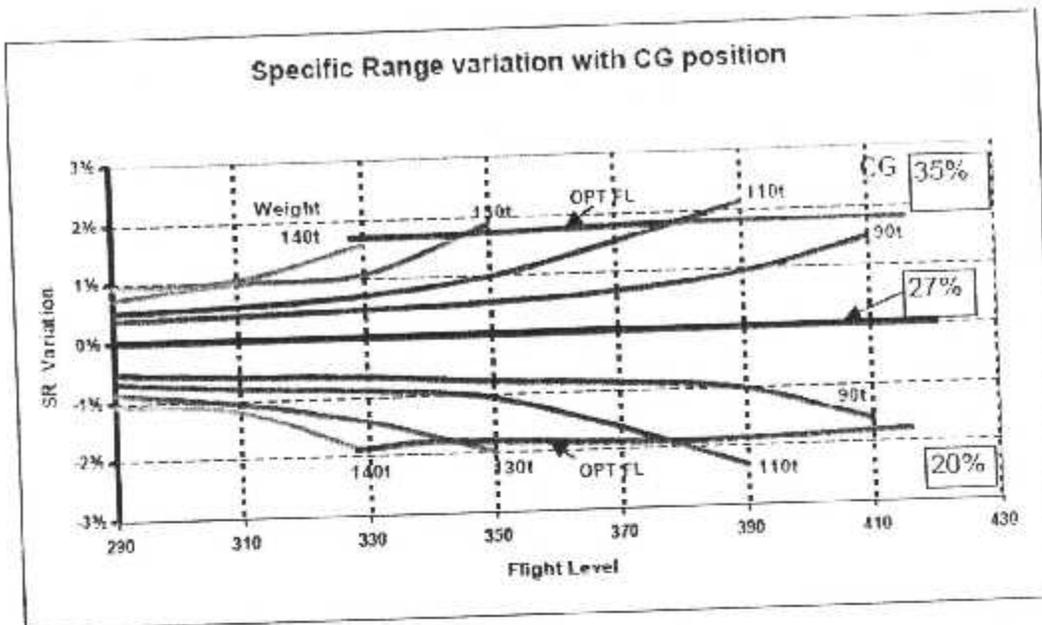


Figure 1 : Variation du rayon spécifique en fonction de la position du CG

Ce graphique, concernant l'A310-203, montre l'avantage de voler avec un CG arrière. En outre sont montrées les lignes d'altitude optimales montrant que les effets d'un CG étaient constants à ces altitudes, avec presque aucune variation par rapport à la masse avion. Les autres appareils ont des courbes semblables avec les mêmes caractéristiques d'altitude optimale (excepté la famille A320). La table suivante récapitule l'effet du CG sur le rayon spécifique à l'altitude optimale :

Appareil (CG)	Back CG (35%)	Fwd CG (20%)
A300-600	+1.7%	-0.9%
A310	+1.8%	-1.8%
A330	+0.5%	-1.3%
A340	+0.6%	-0.9%

Tableau 1 : Influence de la position du CG sur le rayon spécifique

Pour la référence A300/A310 LE CG est de 27% et le CG arrière est de 35%.
 Pour la référence A330/A340 LE CG est de 28% et le CG Arrière est de 37%.

Pour les avions qui ne sont pas équipés de la gestion automatique du centre de gravité, tous ces avantages ne peuvent être réalisés en raison du mouvement du CG (avant et arrière en vol) ,dû à la consommation du carburant. En outre le chargement de ces avions à un niveau maximum de carburant en maintenant un centrage arrière s'avère difficile .

Afin d'évaluer l'impact global de la variation du CG sur la consommation carburant, il doit être évalué sur un secteur complet.

La table suivante montre des augmentations de consommation carburant avec un centrage avant Elle est exprimée en kilogramme par secteur de 1000nm par un CG de 10% vers l'avant, dans le cas d'une variation maximum (poids élevé, niveau de vol élevé) sans décalage du CG en vol.

Fuel Burn Increase with a more Forward CG

Aircraft types	Fuel increment KG/1000nm/10%CG	Typical Sector distance (nm)	Fuel increment per sector (kg)
A300-600	240	2000nm	710
A310	110	2000nm	330
A319/A320/A321	Negligible	1000nm	Negligible
A330-200	70	4000nm	480
A330-300	90	4000nm	600
A340-200	90	6000nm	900
A340-300	80	6000nm	800
A340-500	150	6000nm	1550
A340-600	130	6000nm	1300

Tableau 2 : Influence du centrage avant sur la consommation carburant

III-2-2 -MASSE AU DÉCOLLAGE :

1. INTRODUCTION :

Une autre manière d'économiser le carburant est d'éviter l'excès de masse au décollage, qui comprend le poids à vide de l'avion, la charge utile plus le carburant. En outre la connaissance précise du poids est un facteur important requis pour s'assurer que

les prévisions de consommation carburant sont précises. Ceci apporte aux pilotes une confiance en un plan vol qui évite la tendance à transporter un excès de carburant.

2. L'EFFET DE SURCHARGE :

La variation du rayon spécifique, en volant à une altitude, température, et vitesse données, dépend du poids. Plus l'avion est lourd, plus la consommation de carburant est importante.

De plus, l'économie de carburant peut être faite pendant la montée car l'avion atteint plus tôt son niveau de vol optimal, s'il est plus léger.

L'effet de la surcharge est montré sur le graphique suivant, pour une charge excessive de 1% de MTOW (2600kg dans la croisière pour un A340-313) montre la pénalité du rayon spécifique, le poids, et l'altitude.

Les altitudes maximales et optimales sont montrées ensemble ainsi que les niveaux de vol intermédiaires choisis, représentant le choix d'un FL au-dessous au lieu d'au-dessus de l'optimum.

Par exemple, à 220t, l'altitude optimum est juste sous FL 350.

Si nous choisissons FL 330 1% du MTOW diminuera le rayon spécifique d'un peu moins d'1.2%

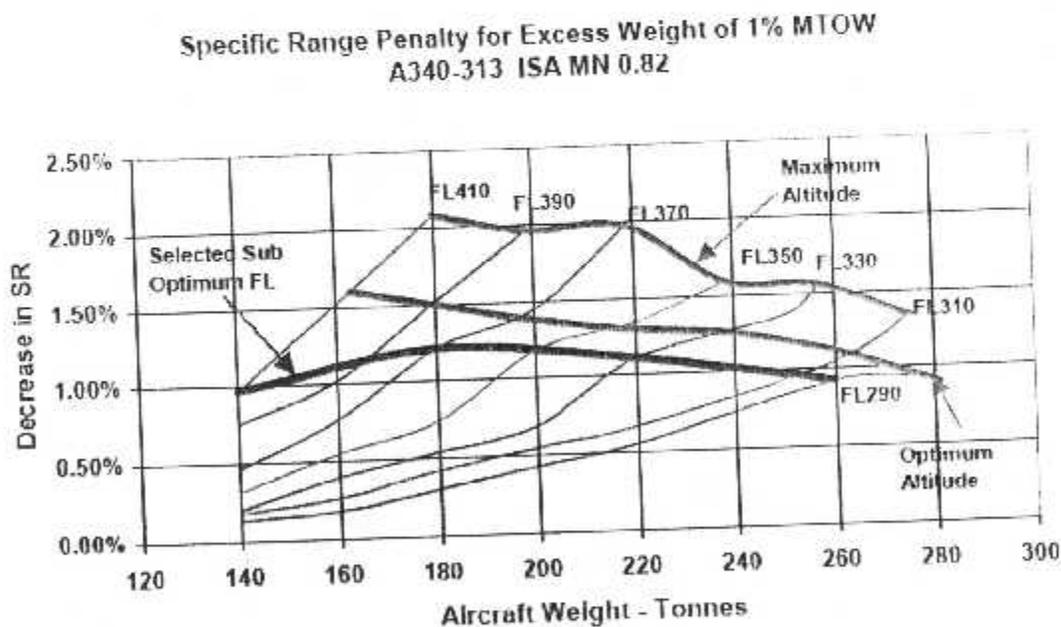


Figure2 : Pénalisation du rayon spécifique pour une augmentation de la MMd d'1%

III-3-TRANSPORT DU CARBURANT :

La consigne concernant la consommation carburant est qu'il est plus économique de porter la quantité minimum exigée pour le secteur. Cependant dans certains cas il est plus économique de porter plus de carburant, quand le prix de ce dernier au terrain de

destination est sensiblement plus élevé que le prix au terrain de départ, puisque le carburant supplémentaire augmente la consommation, le point de rentabilité doit être soigneusement déterminé.

K est le coefficient de transport :

$$K = \frac{\Delta TOW}{\Delta LW}$$

L'addition d'une tonne à la masse d'atterrissage, représente une addition de K tonnes à la masse au décollage.

Par exemple, si K=1.3 et 1300 kilogrammes de carburant est ajouté au départ, 1000 kilogrammes de cette quantité de carburant demeureront à la destination. Porter ainsi une tonne de carburant coûte 300 kilogrammes de carburant en plus.

Le coût supplémentaire du carburant chargé au départ est :

Prix de carburant de départ X poids carburant

$$(\Delta TOW \times P_d = \Delta LW \times K \times P_d)$$

L'économie de coût du carburant transporté est :

Carburant transporté X prix d'arrivée du carburant

$$(\Delta LW \times P_a)$$

Le coût dû à l'augmentation du temps de vol est :

L'augmentation du temps de vol X coût par heure

$$(\Delta T \times C_h)$$

Il est profitable de transporter le carburant supplémentaire si le coût carburant à l'arrivée excède le coût du carburant supplémentaire au départ plus le coût horaire.

$$(\Delta LW \times P_a) > (\Delta LW \times K \times P_d) + (\Delta T \times C_h)$$

C'est-à-dire :

$$\Delta LW (P_a - K \times P_d) - (\Delta T \times C_h) > 0$$

Par conséquent, si $\Delta T=0$, il est profitable de transporter du carburant supplémentaire si le rapport du prix carburant d'arrivée au prix carburant de départ est plus élevé que le coefficient K de transport.

$$\frac{P_a}{P_d} > K$$

De ce fait le carburant supplémentaire transporté peut avoir de la valeur quand un écart des prix de carburant existe entre deux aéroports.

Les graphiques dans le FCOM aident à déterminer la quantité de carburant optimale à emporter en fonction de la masse au décollage (sans carburant additionnel), de la longueur de l'étape, du niveau de vol de croisière, et du rapport des prix de carburant. Le graphique suivant est un exemple pour un A320.

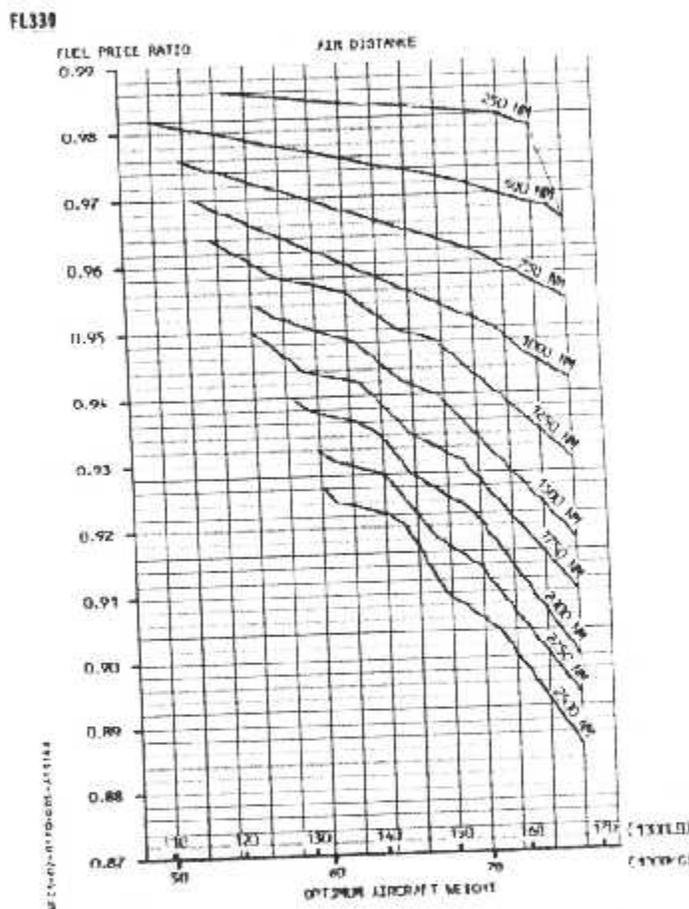


Figure 3 : Masses optimales appareil en fonction du prix carburant et de la distance

Cependant les besoins de planification précise de carburant sont nécessaires pour éviter d'arriver à l'aéroport de destination avec une masse supérieure à la masse maxi atterrissage.

III-4-La montée :

III-4-1- Introduction :

Selon les vitesses adoptées, les profils de montée changent, plus vitesse est importante, plus la trajectoire de montée est basse, plus la distance de montée est longue.

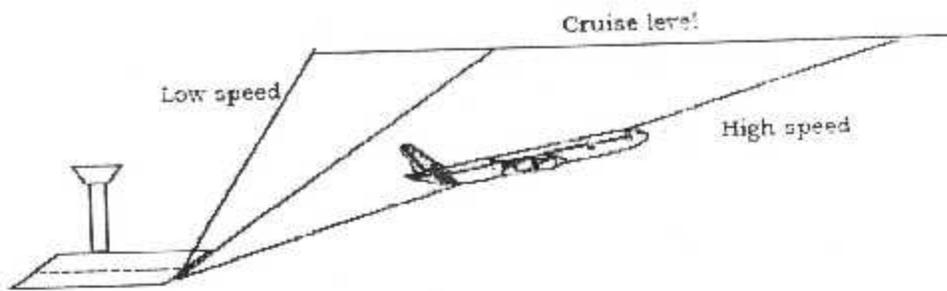


Figure 4 : Profil de montée

Les montées sont normalement exécutées en trois phases à vitesse de montée d'IAS/Mach constante et poussée maximum de montée, comme suit :

- 250 KT vitesse indiquée (IAS) est maintenue jusqu'au niveau 100 de vol, après l'avion accélère à l'IAS indiquée choisie (par exemple "300kts)
- Une IAS constante est maintenue jusqu'à l'altitude de croisement 'crossover altitude';
- Un nombre de mach constant est maintenu jusqu' au top of climb ;

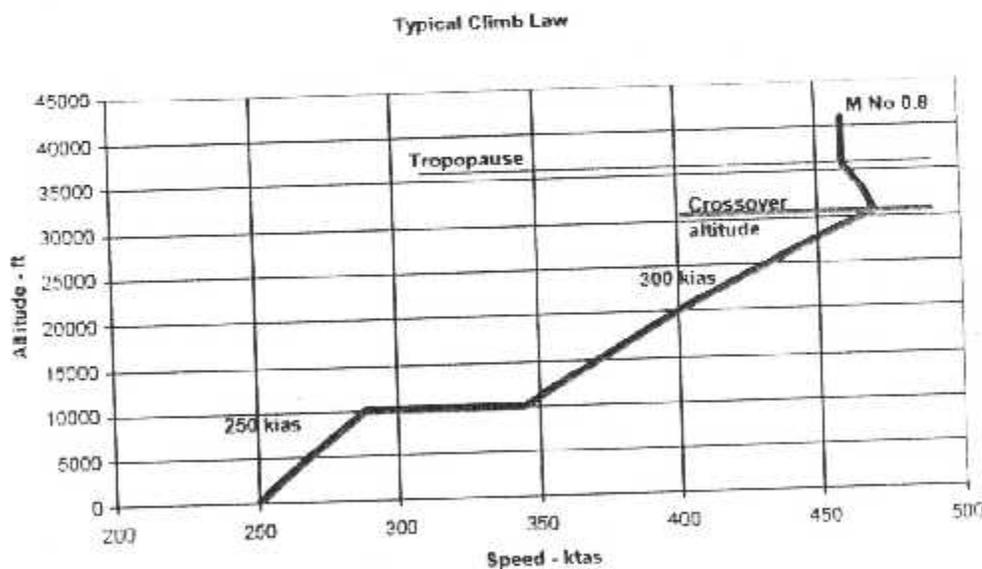


Figure 5 : Montée typique en fonction de la vitesse

-L'altitude de croisement est l'altitude où nous passons de l'IAS constante de montée à un nombre de mach constant de montée, elle dépend seulement de l'IAS et du mach choisis, et ne dépend pas de la variation de l'ISA.
 Pendant la montée, à IAS constante, la vitesse propre (TAS) et le nombre de mach augmentent, puis, montée à mach constant, la TAS et l' IAS diminuent jusqu'à la tropopause.

Une distance courte de montée prolonge par exemple la distance de croisière ; une basse vitesse de montée exige plus d'accélération pour la vitesse de croisière à une altitude défavorable.

III-4-2- EFFETS DE LA TECHNIQUE DE MONTEE SUR LA CONSOMMATION CARBURANT:

Cette évaluation a été faite pour tous les types d'Airbus, basé sur une montée à 35000ft. La vitesse utilisée pour la croisière étant 0.78 pour la famille A320 et 0.8 pour le reste. La technique de montée de référence est la technique standard récapitulée ci-dessous :

Aircraft types	Speed law
A300-600	250kts/300kts/M0.78
A310 (GE)	250kts/300kts/M0.79
A310 (PW)	250kts/300kts/M0.80
A318/A319/A320/A321	250kts/300kts/M0.78
A330	250kts/300kts/M0.80
A340-200/300	250kts/300kts/M0.78
A340-500/600	250kts/320kts/M0.82

Tableau 3 : Paramètres de vitesses pour différents types d'appareil

III-4-3-CONSOMMATION CARBURANT PAR RAPPORT AU TEMPS POUR LA TECHNIQUE DE MONTEE :

Le diagramme suivant montre les différences entre carburant ,temps pour la montée et la croisière pour une distance donnée ,avec une vitesse de montée, et un nombre de mach variable .

Effect of Climb Technique on fuel and time to 120nm
 A300B4-605R ISA F/L 350 Weight 140000kg

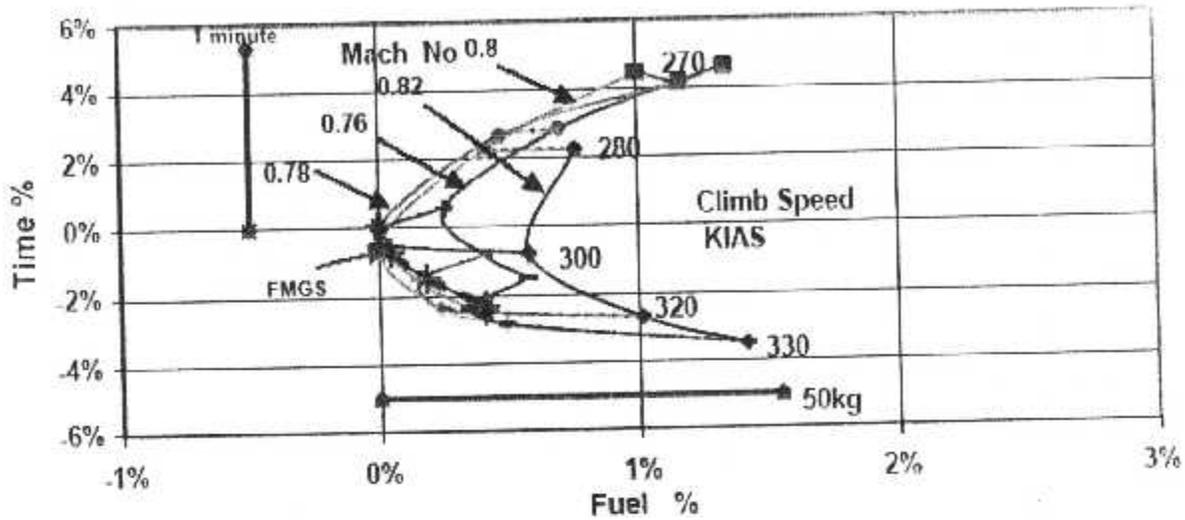


Figure 6: Effet de la technique de montée sur la consommation et le temps a 120NM
 A300BA-605R ISA FL 350 pour M=140000kg

-Ce diagramme prouve que la technique la plus rapide (330/0.82) emploie moins temps (-3.2%) et la majorité du carburant (+1.5%) tandis que la technique la plus lente (270/0.76) emploie la majorité de temps (+4.5%) et presque tout le carburant (+1.4%). Le moindre carburant est obtenu en utilisant une technique montée de 300/0.78.
 La variation de la technique de montée peut causer une variation totale de 1.5% et un temps de montée de 8% pour cet avion.

-En outre tracées sur les diagrammes des lignes représentant les vitesses choisies par le FMGS pour différents index de coût (CI).
 Le point de gauche de chaque ligne représente un CI de zéro (priorité de coût de carburant) et le point droit représente un CI de 100 (priorité de temps de vol). On note comment la ligne de FMGS(ligne noire) optimise le temps ainsi que le carburant utilisé.

III-4-4 -TABLEAUX DE COMPARAISON DE TECHNIQUE DE MONTEE :

Les tables suivantes montrent, pour les divers avions d'Airbus, le temps de montée et les variations de carburant pour une distance fixe, à FL 350, et une vitesse de référence de 300kias.

Tableau 4 : Effet de la vitesse de montée sur la consommation carburant

Aircraft	Climb Mach No.	Fuel – kg				
		270 KT	280 KT	300 KT	320 KT	330 KT
A300	0.78	+40	+15	0	+5	+10
A310	0.79		+5	0	+5	+15
A318/A319/A320	0.78		-15	0	+30	+70
A321	0.78		-10	0	+25	+60
A330	0.80	+15	+5	0	+20	+35
A340-200	0.78	+45	+20	0	+10	+25
A340-300	0.78	+105	+50	0	-5	+20
A340-500/600	0.82		+135	0	-5	-10

Tableau 5: Effet de la vitesse de montée sur le temps

Aircraft	Climb Mach No.	Time – minutes				
		270KT	280 KT	300 KT	320 KT	330 KT
A300	0.78	+0.8	+0.5	0	-0.3	-0.4
A310	0.79		+0.5	0	-0.5	-0.6
A318/A319/A320	0.78		+0.5	0	-0.4	-0.8
A321	0.78		+0.8	0	-0.6	-1.0
A330	0.80	+0.9	+0.6	0	-0.4	-0.7
A340-200	0.78	+1.4	+0.8	0	-0.6	-0.8
A340-300	0.78	+1.5	+0.9	0	-0.6	-1.0
A340-500/600	0.82		+0.8	0	-0.6	-0.8

On peut voir dans les tables comment les techniques optimales dépendent du type d'avion, et qu'un changement de vitesse de montée de 10kt peut avoir un impact significatif.

III-4.5 -MONTÉE À POUSSÉE REDUITE « DERATED CLIMB » :

Afin de réduire les coûts d'entretien moteur, il y a des options disponibles sur l'A330 et A340. Il y a deux niveaux de réduction, D1 et D2. À certaine altitude la réduction est épuisée et le régime D1(D2) est égale a la poussée maxi de montée à 30000ft.

Les expositions suivantes montrent une image typique de la variation de la poussée réduite , mais ceci changera avec le moteur et la température.

Derated Climb - Net Thrust Reduction

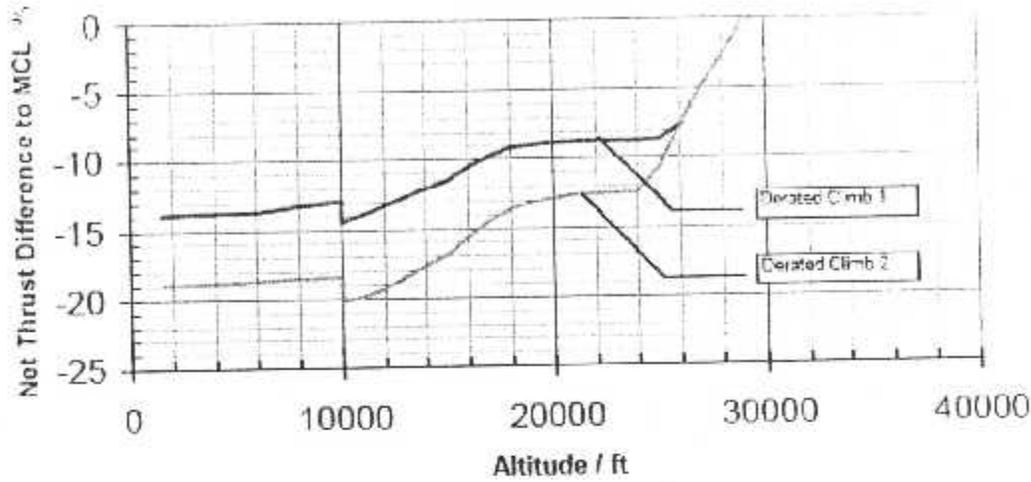


Figure 7 : Montée a poussée réduite

- Cependant ces sous sollicitations auront comme conséquence ; plus de carburant et de temps requis pour atteindre la même distance. L'effet dépend de la masse avion, de la température et du niveau de vol de croisière. La table suivante donne quelques pénalités typiques dans les conditions ISA à 35000ft.

Aircraft	Altitude (ft)	Derate D ₂			
		Fuel Increase	Time Increase	Fuel Increase	Time Increase
A320-200	19000	5kg	0.5 min	20kg	0.6 min
A330-200	19000	20kg	0.2 min	40kg	0.5 min
A330-300	19000	20kg	0.2 min	40kg	0.5 min
A340-212	24000	65kg	0.9 min	120kg	1.5 min
A340-313	24000	140kg	0.8 min	225kg	1.4 min
A340-314	24000	140kg	1.0 min	335kg	1.4 min
A340-642	34000	270kg	0.6 min	445kg	1.0 min

Tableau 6 : Influence de la poussée réduite sur le temps et la consommation

III-5- La croisière :

III-5-1- Introduction :

La phase de croisière est la phase la plus importante concernant l'économie du carburant, car elle est la plus longue. Pour les avions long courrier, l'économie carburant est si importante, qu'une discipline stricte doit être exercée .

Les deux variables qui influencent le plus la consommation de carburant en croisière sont la vitesse de croisière (IAS ou nombre de mach) et l'altitude ou le niveau de vol. Les graphiques suivantes montrent leurs influences sur un seul secteur comprenant une montée et une procédure de descente standard.

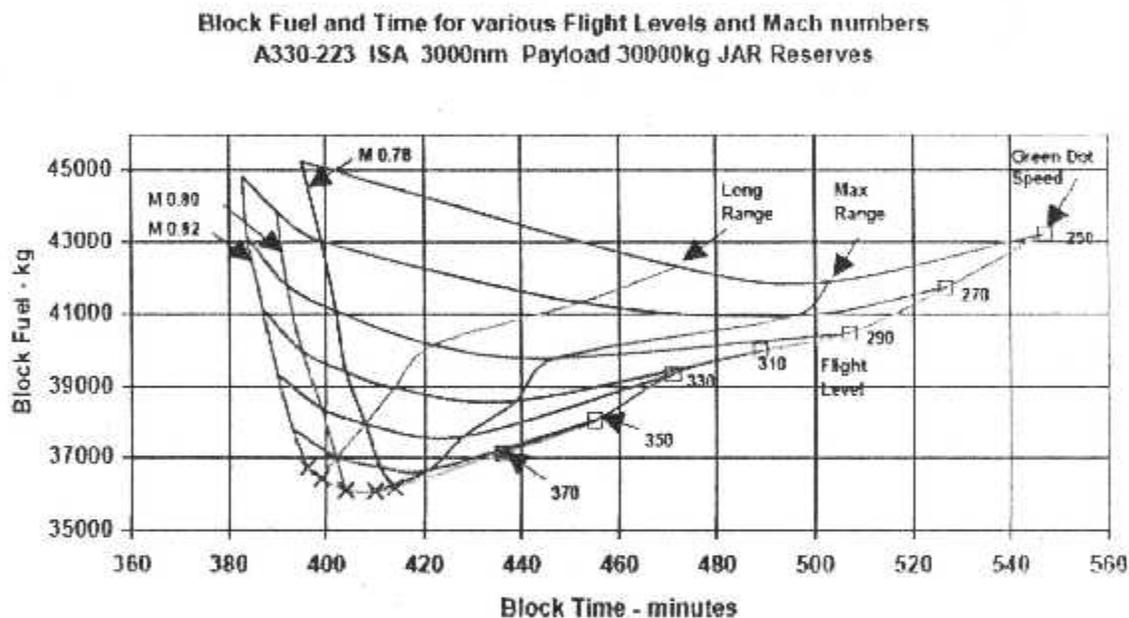


Figure 8 : Carburant et temps pour différents FL et Mach

Le choix correct des paramètres de croisière est donc fondamental dans la minimisation du carburant ou des frais d'exploitation. Ce diagramme prouve que l'avion consomme moins de carburant quand il vol à vitesse réduite . Ceci dit il y a des limites à ces lois. Voler plus bas que la maximum range speed augmentera le carburant, et mènera à un vol à altitude plus haute que l'altitude optimale. On notera aussi que les vitesses situées entre le Mach maxi Range et Mach Long Range produisent le meilleur compromis carburant temps .

III-5-2-Optimisation de l'altitude de croisière :

En vérifiant, le changement du rayon spécifique en fonction de l'altitude à mach constant, il est évident que, pour chaque poids, il y a une altitude où le rayon spécifique est maximum. Cette altitude désigné sous le nom "altitude optimale".

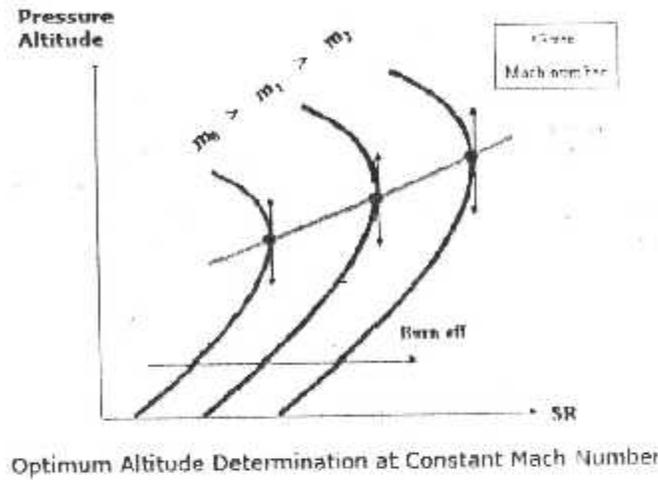


Figure 9 : Détermination de l'altitude optimale pour un mach constant

Quand l'avion vole à l'altitude optimale, il utilise le meilleur rapport portance-trainée correspondant au nombre de mach choisi $(Cz/Cx)_{max}$.

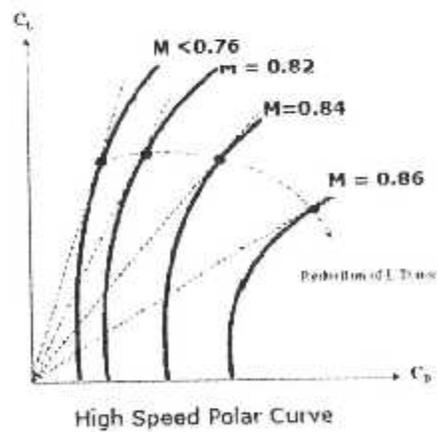


figure10 : La polaire

Quand l'avion vole à grande vitesse, la courbe de la polaire dépend du nombre de mach indiqué, et diminue quand le mach augmente. Ainsi, pour chaque nombre de mach, il y a

une valeur différente de $(Cz/Cx)_{\max}$, qui est inférieur à mesure que le nombre de mach augmente.

Quand l'avion vol en croisière à l'altitude optimale à mach donné, le Cz est fixe et correspond à $(Cz/Cx)_{\max}$ du nombre de mach choisi. En conséquence, les éléments variables sont le poids et la pression statique extérieur (P_s) de l'altitude optimale. La formule exprimant une croisière à l'altitude optimale est :

$$\frac{\text{Weight}}{P_s} = \text{constant}$$

Il convient de noter que l'influence de la vitesse sur l'altitude optimale n'est pas très significative dans la gamme des vitesses de croisière normales. Afin de réduire au minimum la consommation carburant, l'avion devrait donc voler à l'altitude optimale.

Cependant ce n'est pas toujours possible. Les limitations de performances telles que le taux de montée ou de poussée disponible de croisière peuvent mener à une altitude maximum au-dessous de l'optimum, comme dans le cas des limitations de vibrations. À de faible poids, l'altitude optimale peut être au-dessus de l'altitude maximum certifiée. En outre, les restrictions de gestion du trafic aérien peuvent affecter le niveau de vol.

La table suivante montre la pénalité du rayon spécifique en ne volant pas à l'altitude optimale, avec un mach de croisière de 0.8. Il convient de noter que chaque combinaison fuselage/moteurs a différentes valeurs. Il convient de noter que ce sont les valeurs moyennes et il y a de légères variations par rapport à différentes combinaisons poids/altitude optimale.

Specific Range Penalty for not flying at Optimum Altitude

Aircraft	+2000ft	-2000ft	-4000ft	-6000ft
A300B4-605	2.0%	0.9%	3.4%	9.3%
A310-324	1.9%	1.4%	4.4%	9.3%
A318-111	0.7%	1.6%	5.0%	10.0%
A319-132	1.0%	3.0%	7.2%	12.2%
A320-211	**	1.1%	4.7%	9.5%
A320-232	1.4%	2.1%	6.2%	12.0%
A321-112	2.3%	1.4%	4.6%	15.2%
A330-303	1.8%	1.3%	4.2%	8.4%
A330-343	3.0%	1.0%	3.2%	7.2%
A340-212	1.4%	1.5%	4.0%	8.0%
A340-313E	1.5%	1.6%	5.2%	9.5%
A340-642	1.6%	0.6%	2.2%	5.1%

** Above Maximum Altitude

Tableau 7 : Pénalité du rayon spécifique pour des déviations de l'altitude optimale

Généralement si on vole à moins de 2000ft de l'altitude optimale, le rayon spécifique est à environ 2% du maximum. Cependant la consommation de carburant est une considération importante.

Considérez un A340-313E à un poids tel que l'altitude optimale est 33000ft. Si l'avion vole à FL310 la pénalité du RS est 2.1% pour le poids considéré. Toutefois après une consommation carburant de 20800kg, pendant laquelle l'avion aurait parcouru 1400nm l'altitude optimale augmente à 35000ft et la pénalité est maintenant à 5.2%.

Il y a également un effet sur le temps de vol dû aux différentes altitudes. La vitesse propre TAS augmente/diminue de 4kts, pour chaque augmentation/diminution d'altitude de croisière de 2000ft.

1. ALTITUDE DE CROISEMENT CONTRE ALTITUDE OPTIMALE :

On a précédemment montré que la TAS est maximum à l'altitude de croisement. On peut se demander s'il est profitable de rester à cette altitude, au lieu de monter à la première altitude optimale.

La prochaine table montre l'influence du vol effectué à l'altitude de croisement au lieu des niveaux optimaux de vol. Le 1er niveau optimum de vol a été choisi pour les secteurs restreints, tandis que de plus longs secteurs assument des montées en palier aux FL 310, 350 et 390.

On considère les conditions ISA ,et une masse au décollage pour un secteur typique, avec un maximum de passagers et un certain fret (2500kg pour la famille A320 et 5000kg pour les autres avions).

Aircraft type	Sector Distance	Cross-over altitude	Optimum Flight Levels	Gained time (min)	Increase in fuel consumption
A300B4-605R	2000nm	29000 ft	310/350	7	1190kg
A310-324	2000nm	30000ft	350/390	3	2160kg
A318-111	1000nm	29000 ft	370	3	740kg
A319-112	1000nm	29000 ft	370	3	650kg
A320-214	1000nm	29000 ft	350	2	580kg
A320-232	1000nm	29000 ft	340	2	440kg
A321-211	1000nm	29000 ft	330	2	350kg
A330-203	4000nm	31000 ft	350/390	9	5040kg
A330-223	4000nm	31000 ft	350/390	9	5780kg
A330-343	4000nm	31000 ft	350/390	10	6380kg
A340-212	6000nm	29000 ft	310/350/390	17	10900kg
A340-313	6000nm	29000 ft	310/350/390	14	8410kg
A340-313E	6000nm	29000 ft	310/350/390	17	9310kg
A340-500/600	6000nm	29000 ft	310/350/390	18	2430kg

Tableau 8 : Paramètres de vol a l'altitude de croisement pour un secteur donne

Cette table prouve que voler aux altitudes de croisement augmente la consommation carburant de manière significative pour une réduction relativement petite du temps de vol.

2. Optimisation de la croisière avec la montée en palier 'stepped climb' :

2.1. Introduction :

On a montré que voler à des altitudes non optimales peut causer des pénalités significatives de carburant, et que l'effet de la consommation carburant augmente l'altitude optimale. Le scénario idéal est d'adopter une montée pendant la croisière pour maintenir l'altitude optimale, mais les contraintes ATC, et les limites de performance ne rendent pas cette tâche possible.

Cependant, en changeant le niveau de croisière avec une montée en paliers, dès que l'avion est léger ,il restera aussi proche que possible de l'altitude optimale.

2.2. Sélection du profil :

Plusieurs paramètres comme les conditions météo, ou conditions ATC, peuvent influencer les décisions prises par le PN toute en respectant les trois priorités fondamentales :

Manoeuvrabilité, confort passager, et économies.

Ceci concerne le choix du niveau de vol de croisière qui peut être fait selon les trois profils de montée suivants comme montré ci-dessous pour un A340-642 :

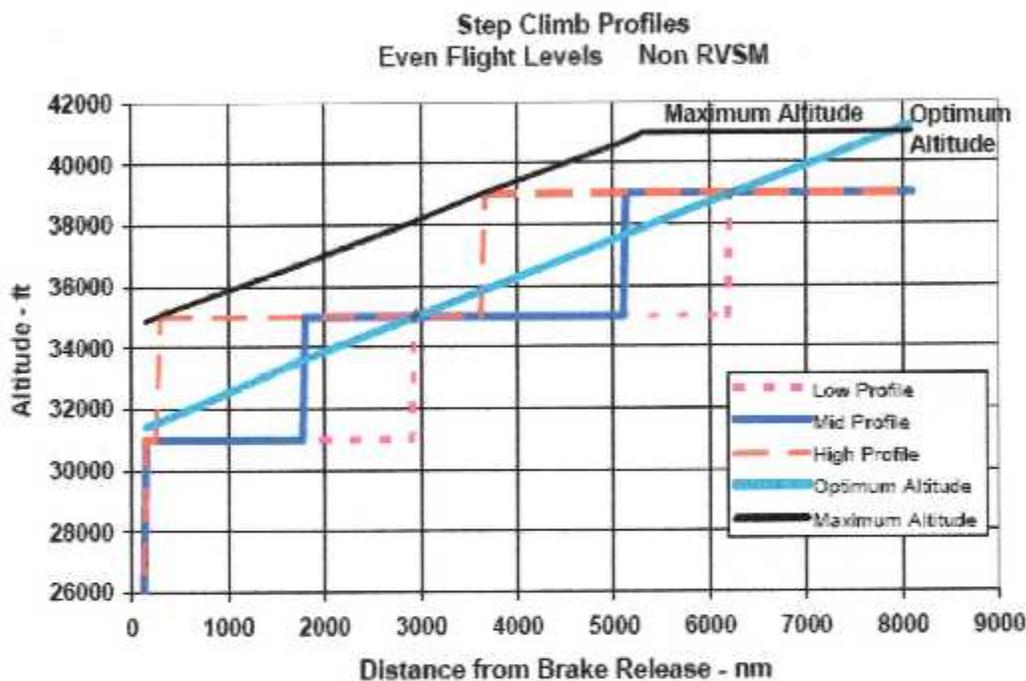


Figure 11 : Profil de montée en escalier

Le profil bas initialise la montée à un poids où le prochain niveau disponible de vol est le niveau optimum de vol à ce poids.

En conséquence les niveaux de vol sont toujours à ou au-dessous du niveau de vol optimum. Ceci a l'avantage de meilleures marges de manoeuvrabilité et généralement une meilleure vitesse car on est plus près de l'altitude de croisement.

Le profil haut initialise la montée a un poids où le prochain niveau de vol disponible est le niveau maximum de vol à ce poids. Les niveaux de vol sont principalement au-dessus de l'optimum et l'avion aura diminué la manoeuvrabilité et volera plus lentement.

Le profil moyen initialise la montée a un poids où le rayon spécifique au prochain niveau de vol disponible est meilleure que celui au niveau actuelle. Ceci permet au profil de vol de demeurer aussi étroitement proche du niveau optimum de vol.

C'est cette technique qui est recommandée pour la meilleure économie de carburant, et est également très proche de celle exigée pour les meilleures économies.

Il est intéressant de noter que, dans ce cas-ci, le profil moyen de montée en escalier est utilisé 1140nm avant la montée du profil bas et 1520nm après la montée du profil haut.

Les situations varient avec les niveaux de vol impairs:

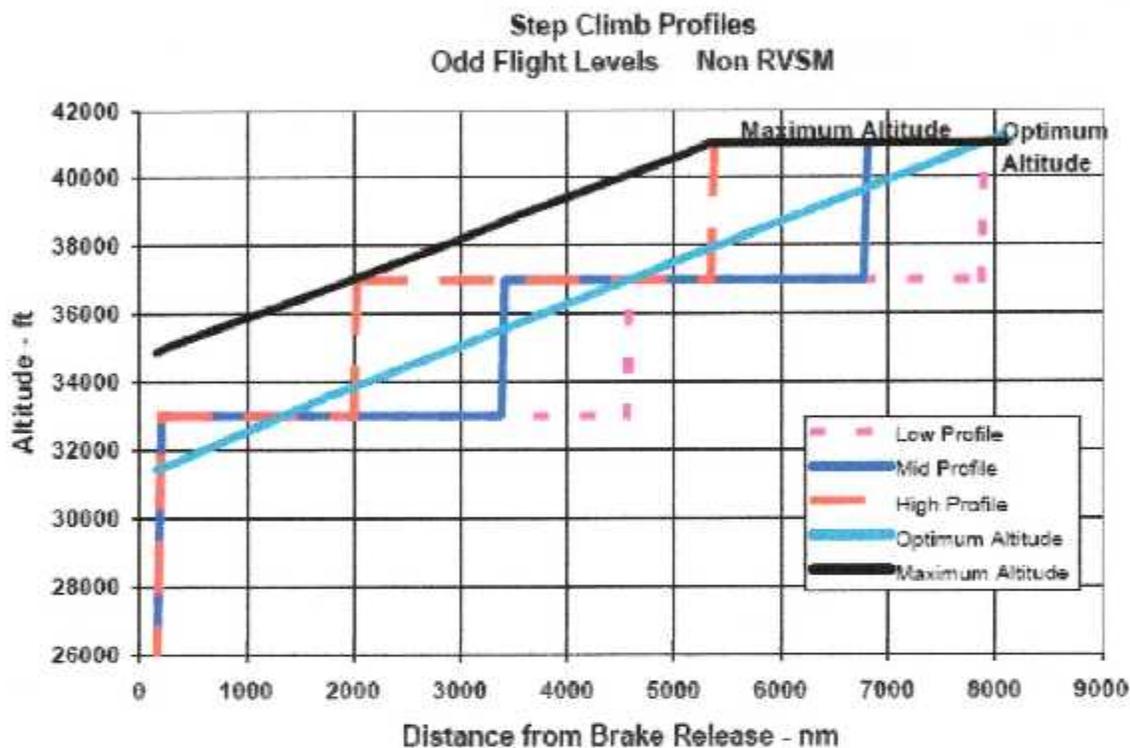


Figure 12 : Profil de montée en escalier pour des FL impairs et non RVSM

En raison des différents niveaux de vol disponibles, les montées en paliers sont initialisées à environ 1500nm plus loin que pour les niveaux de vol paire. Cependant les mérites relatifs de chaque profil demeurent les mêmes.

Avec la réduction des séparations verticales minimums (RVSM) la séparation est réduite entre les niveaux de vol de 4000 à 2000ft et ceci permet au profil du vol de demeurer beaucoup plus près de l'optimum. En outre le profil haut (selon l'avion) demeure beaucoup plus haut que l'optimum, augmentant la pénalité de carburant. Ce profil est montré à la page suivante.

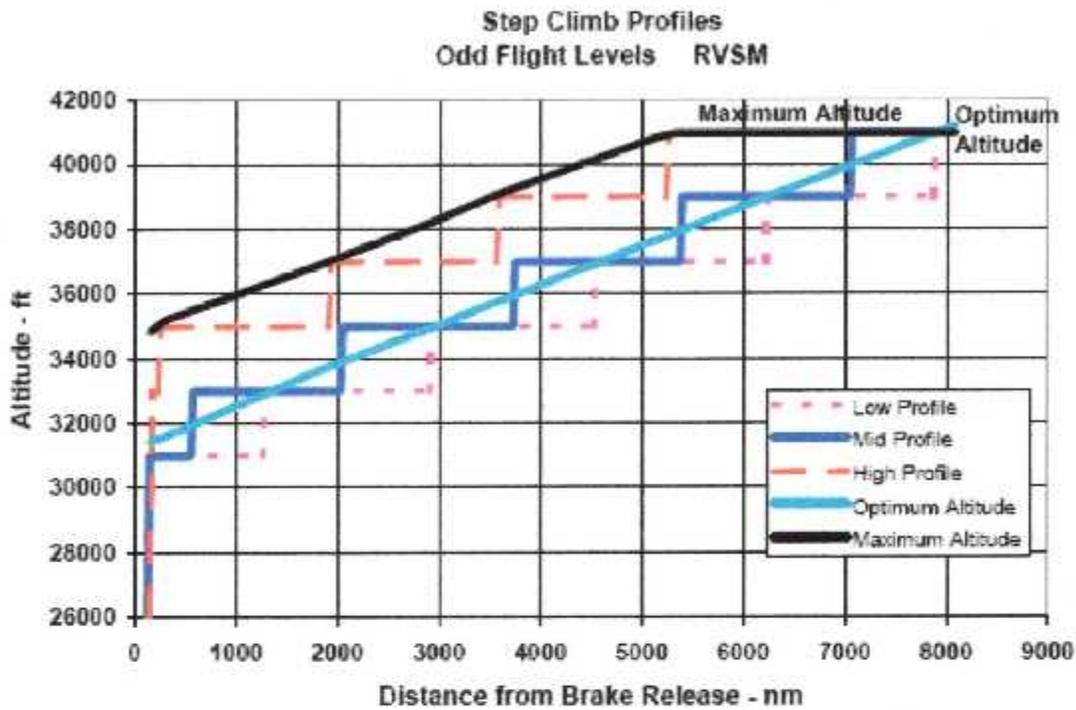


Figure 13 : Profil de montée en escalier pour des FL impairs et RVSM

Sur tout les Airbus, équipés du FMS, l'altitude optimale (OPT FL) et le niveau maximum de vol (maximum FL) sont montrés à la page de progress du MCDU.

L'altitude maximum recommandée dans le FMGC assure un taux minimum de montée de 300ft/min à la poussée MAXIMUM DE MONTEE et un vol en palier à la poussée MAXIMUM de CROISIÈRE. Selon le poids et le type, elle est de 2000 à 4000ft au-dessus de l'altitude optimale.

Des distances types de croisière entre 2000 ft d'altitude sont montrées dans la table suivante :

Type	Distance - nm
A300	1000 - 1100
A310	1150 - 1250
A320	1200 - 1300
A330	1500 - 1650
A340	1500 - 1650
A340-500/600	1600 - 1700

Table 9 : Distances types de croisière dans une hauteur de 2000 ft d'altitude

III-5-3- ALTITUDE OPTIMALE SUR LES ÉTAPES COURTES :

Pour les étapes courtes, le choix du niveau de vol de croisière est souvent restreint à cause de la montée nécessaire et à la distance de descente.

La philosophie d'Airbus assume un secteur minimum de croisière de 5 minutes, parce qu'une montée suivi immédiatement de la descente n'est pas apprécié par les pilotes, les passagers ou l'ATC.

Si la longueur d'étape est suffisante pour que le niveau de vol optimum soit atteint, et la croisière est de courte durée, alors les avantages à ce niveau de vol seront négligeable. Il peut être intéressant de voler à vitesse normale à un niveau de vol inférieur, car l'augmentation de la consommation en montée compense n'importe quelle réduction de consommation en croisière.

Dans le FCOM il y a un diagramme montrant l'altitude optimale sur une étape courte, Un exemple est montré ci-dessous.

 <small>FLIGHT CREW OPERATING MANUAL</small>	FLIGHT PLANNING CRUISE LEVEL	2.06.20	P 4
		SHT P70	HEV 06

OPTIMUM ALTITUDE ON SHORT STAGE

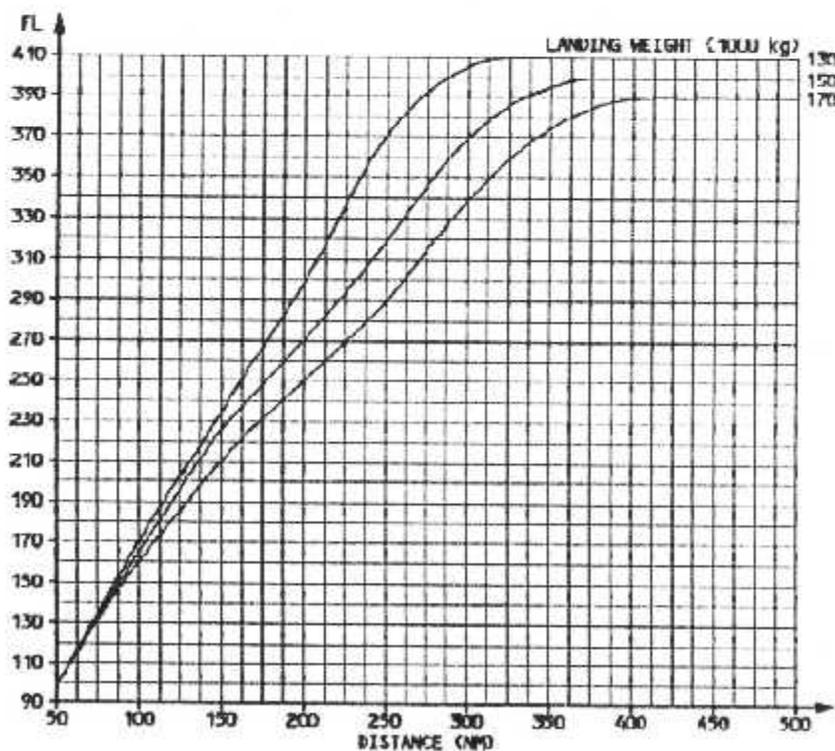


Figure 14 : Altitude optimale pour des étapes courtes

III-5-4- Optimisation de la vitesse de croisière :

Lors du vol à un niveau de vol optimum demandé ou imposé par le contrôle de trafic aérien, la vitesse est le seul paramètre restant qui exige un réglage. Le graphique suivant montre la variation du rayon spécifique avec le nombre de mach pour différentes masses avion à une altitude fixe.

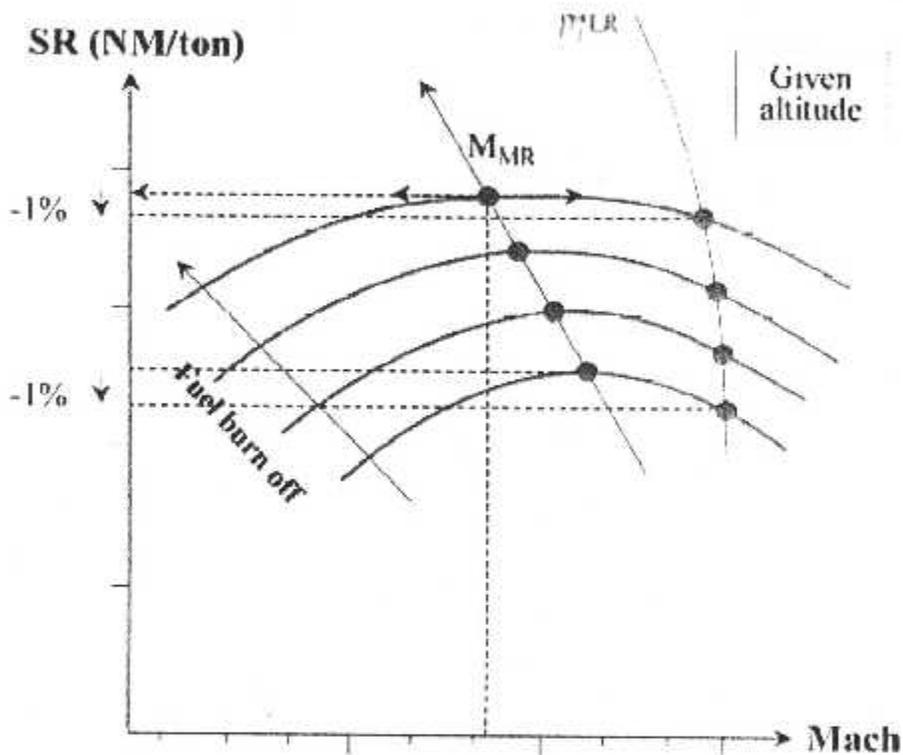


Figure 15 : Rayon spécifique en fonction du Mach pour une altitude donnée

Le nombre de mach, qui donne le meilleur rayon spécifique, peut être déterminé. Il s'appelle le mach maximum range (MMR). Néanmoins, pour des opérations pratiques, on définit un procédé à longue portée 'long range' de croisière avec une augmentation significative de la vitesse comparée à MMR, et seulement une perte de 1% dans le rayon spécifique. La vitesse MMR, la vitesse MLRC diminuent avec un poids décroissant, à altitude Constante.

Le diagramme suivant montre la variation du mach long range avec la masse avion pour différents niveaux de vol. En outre est tracé sur ce diagramme la ligne d'altitude optimale. Ceci prouve qu'il n'y a pas beaucoup de variation du mach long range à ces altitudes.

Il serait donc possible de voler à un nombre de mach constant au lieu d'ajuster chaque fois la vitesse LRC ,afin d'économiser le carburant.

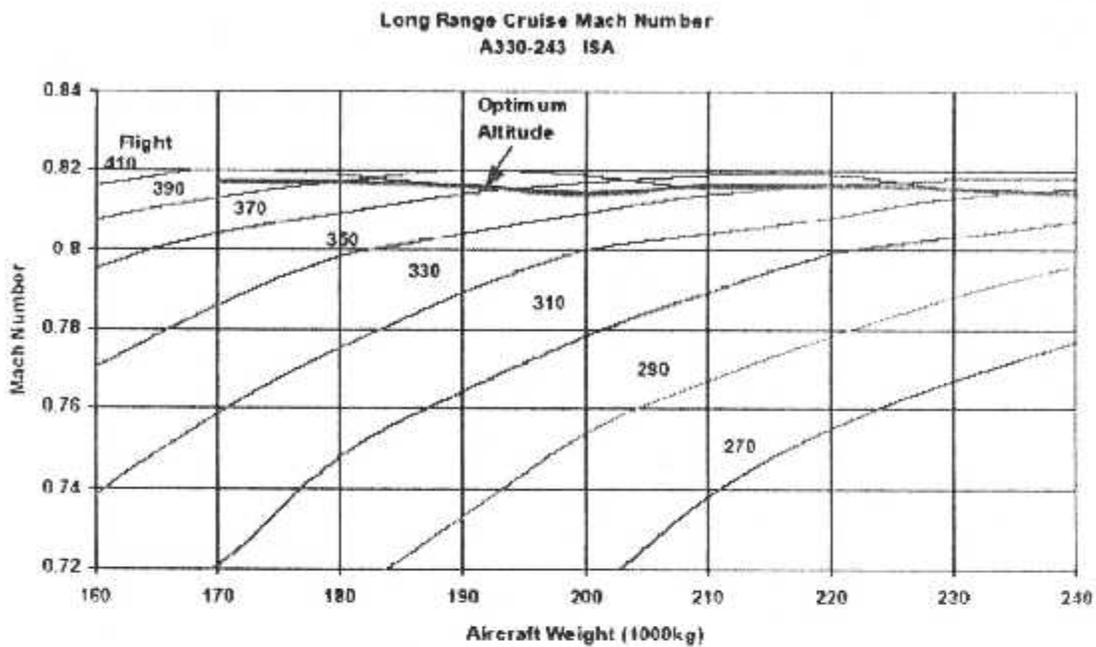


Figure 16 : Mach LRC en fonction de la masse appareil

1. INFLUENCE DU VENT SUR LE MACH :

Le diagramme suivant montre le mach maximum range par rapport à des variations de vent.

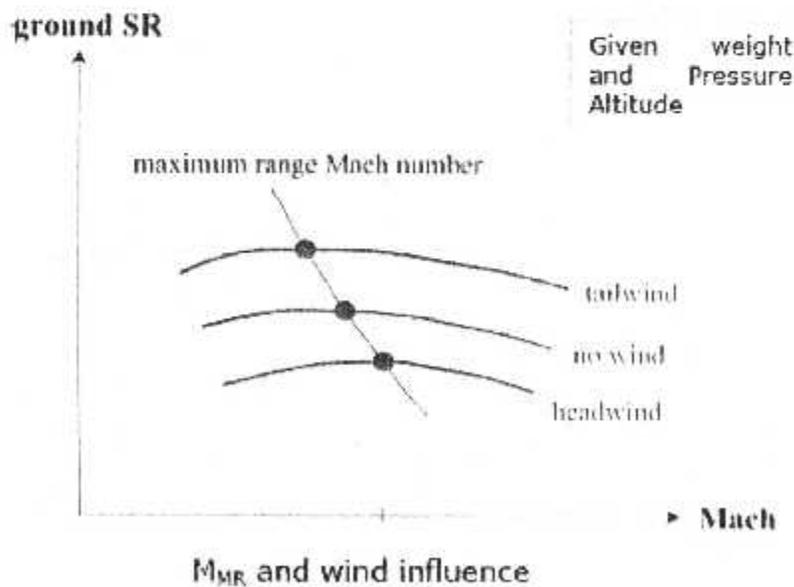


Figure 17 : Influence du vent sur le ground SR

Ceci prouve que :

Tailwinds increase the specific range and lower the speeds
Headwinds decrease the specific range and raise the speeds.

- Vent arrière augmente le rayon spécifique et réduit la vitesse.
- Vent debout diminue le rayon spécifique et augmente la vitesse.

La vitesse du vent peut être différente à différentes altitudes. Pour un poids indiqué, quand l'altitude de croisière est inférieure à l'altitude optimale, le rayon spécifique diminue.

Néanmoins, il est possible qu'à une basse altitude avec un vent favorable, le rayon spécifique au sol s'améliore.

En conséquence, en de telles conditions, il est plus économique de voler à vitesse normale à basse altitude.

Si le vent est plus favorable il est conseillé de voler plus bas.

2. Utilisation du en FMS 'MODE GESTION' :

Le système de gestion de vol (FMS) optimise le plan de vol pour les vents, coûts d'exploitation, et suggère l'altitude et la vitesse de croisière les plus économiques, selon l'index de coût choisi par la compagnie aérienne, qui veut économiser le carburant choisi un index faible.

La prochaine partie prévoit d'accentuer l'impact du cost index sur la consommation de carburant et le temps de vol.

3. NOMBRE DE MACH ÉCONOMIQUE :

Le mach longue range de croisière (mach long-range cruise) a été considéré comme régime à consommation minimum. Si nous considérons les frais d'exploitation directs, le nombre de mach économique (M_{ECON}), peut être introduit.

En conséquence, pour un vol donné, le Doc peut être exprimé comme :

$$DOC = C_c + C_f \Delta F + C_t \Delta T$$

C_c : coûts fixes.

C_f : coûts carburant unitaire.

C_t : coûts relatifs au temps par heure de vol

ΔF : délestage.

ΔT : temps de vol.

Comme les coûts d'exploitation directs sont calculés en nautiques miles il est possible de tracer une courbe des coûts liés au fuel, au temps de vol, et les coûts directs d'exploitation basés sur le nombre de mach.

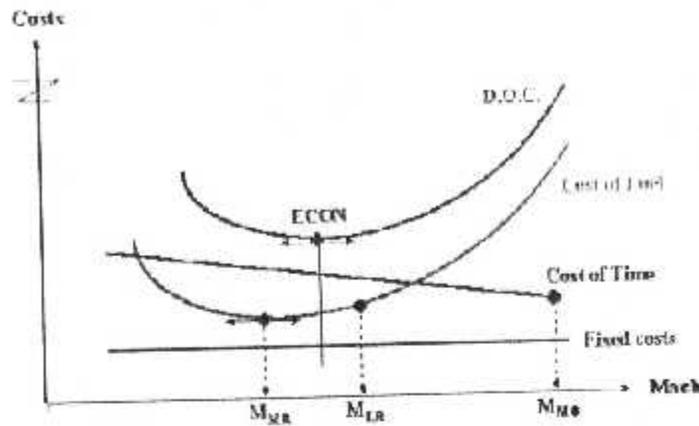


Figure 18 : courbe des coûts en fonction du mach

Les coûts de carburant minimums correspondent au mach maxi range . Les coûts directs minimums correspondent à un nombre de mach spécifique, désigné sous le nom mach Econ (M_{ECON}).

$FL = \text{constant}$	weight	\searrow	$\Rightarrow M_{ECON}$	\searrow
weight = constant	FL	\nearrow	$\Rightarrow M_{ECON}$	\nearrow

La valeur de M_{ECON} dépend du rapport du temps et du coût carburant. Ce rapport s'appelle l'index de coût (CI), et est habituellement exprimé en kg/min ou 100 lb/l :

$$\text{Cost Index (CI)} = \frac{\text{Cost of time}}{\text{Cost of fuel}} = \frac{C_T}{C_F}$$

Selon l'index de coût, l'avion exploité et les conditions atmosphériques, l'altitude optimale et le nombre de mach économique sont calculés. A partir de ça, la consommation de carburant dépend seulement de l'index de coût choisi. Le diagramme suivant montre la variation du mach économique par rapport au niveau de vol pour différents index de coût.

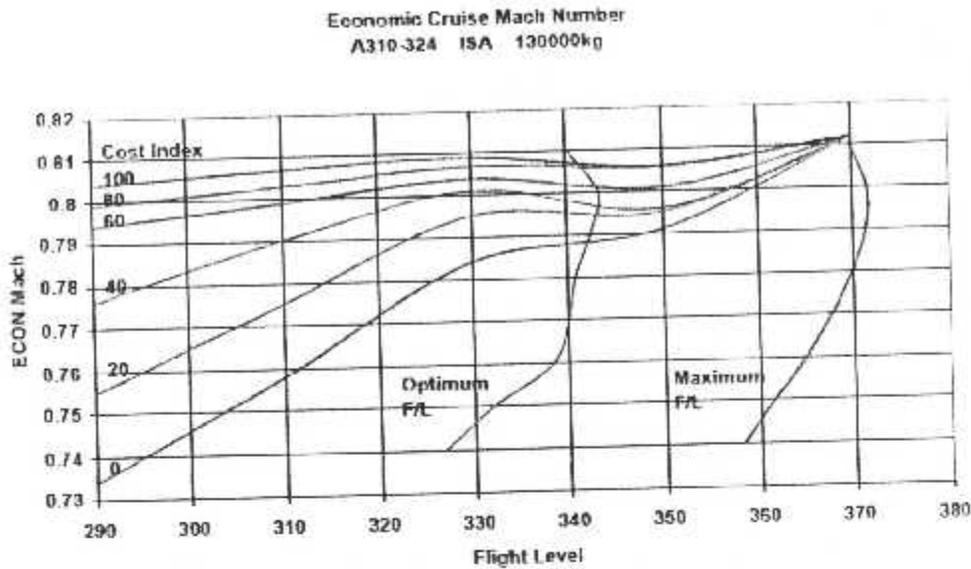


Figure 19 : courbe du mach Econ en fonction du niveau de vol

Ceci montre la tendance générale, commune à l'avion, d'augmenter le nombre de mach économique avec le niveau de vol pour une masse constante. Le cost index est plus sensible quand on vol au-dessous de l'altitude optimale pour des cost index faibles (une grande variation de Mecon).

III-6-La Descente :

III-6-1-Introduction :

Selon la loi de descente, les trajectoires de vol changent dans l'inclinaison. En effet, plus la vitesse est importante, plus la pente est raide.

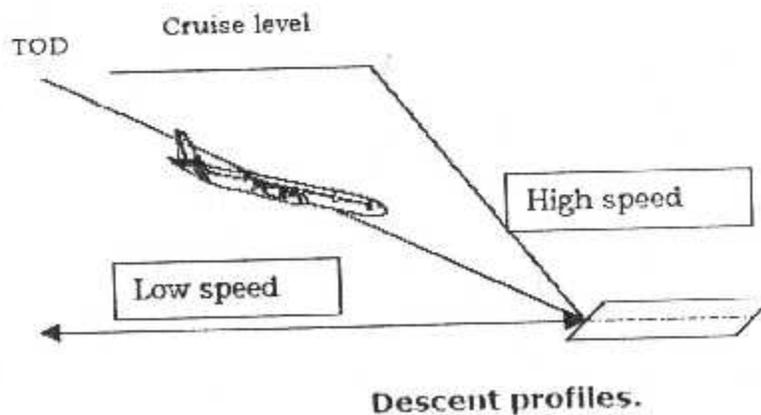


Figure 20 : Profile de descente

Des descentes sont normalement effectuées en trois phases sur un programme constant de vitesse de descente d'IAS/Mach, comme suit :

- Un nombre de mach constant est maintenu jusqu'à l'altitude de croisement
- IAS constante et maintenue basse jusqu'à 10000ft
- 250 KT (IAS) est maintenue au-dessous du niveau 100 de vol, jusqu'à ce que l'avion ralentisse pour l'atterrissage

La poussée moteur est normalement mise au ralenti pour la descente et la vitesse est commandée par l'attitude de l'avion.

En ces conditions les poids plus élevés augmentent la distance de descente en raison de la réduction du gradient de descente (qui égale $[\text{poussée} - \text{traînée}] / \text{poids}$ dans un vol stabilisé). Ceci augmente également le carburant consommé pendant la descente.

Pour évaluer correctement les effets des techniques de descente, la croisière et le vol de descente doivent être considérés l'un par rapport à l'autre. Une distance courte de descente prolonge par exemple la distance de croisière.

III-6-2-EFFETS DES TECHNIQUES DE DESCENTE SUR LA CONSOMMATION CARBURANT :

Une évaluation a été faite pour la consommation carburant pendant la descente, et a démontrée qu'un poids élevé diminue la consommation totale de carburant ceci est dû au faible gradient $[(T_u - T_n) / \text{poids}]$ qui induit une distance de descente plus importante qui va diminuer la distance de croisière ou la consommation est plus importante (moteurs au ralenti pendant la descente). Ce qui est montré dans le diagramme suivant.

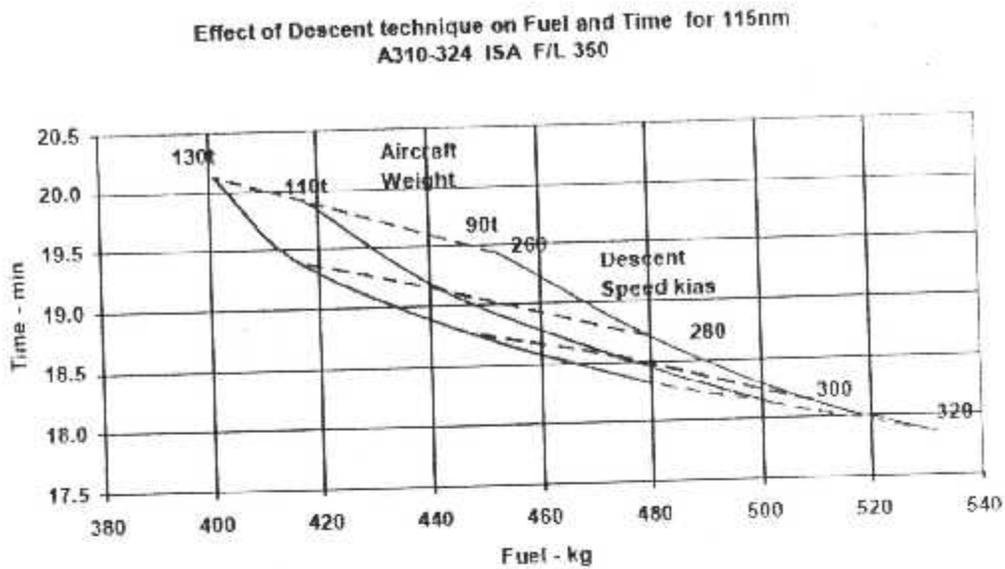


Figure 21: Effets de la technique de descente sur le temps et la consommation carburant pour une distance de 115NM.

À un poids fixe, le diagramme suivant prouve que le carburant minimum est atteint à une vitesse de descente de 240kias à 280kias, dépendant du niveau de vol.

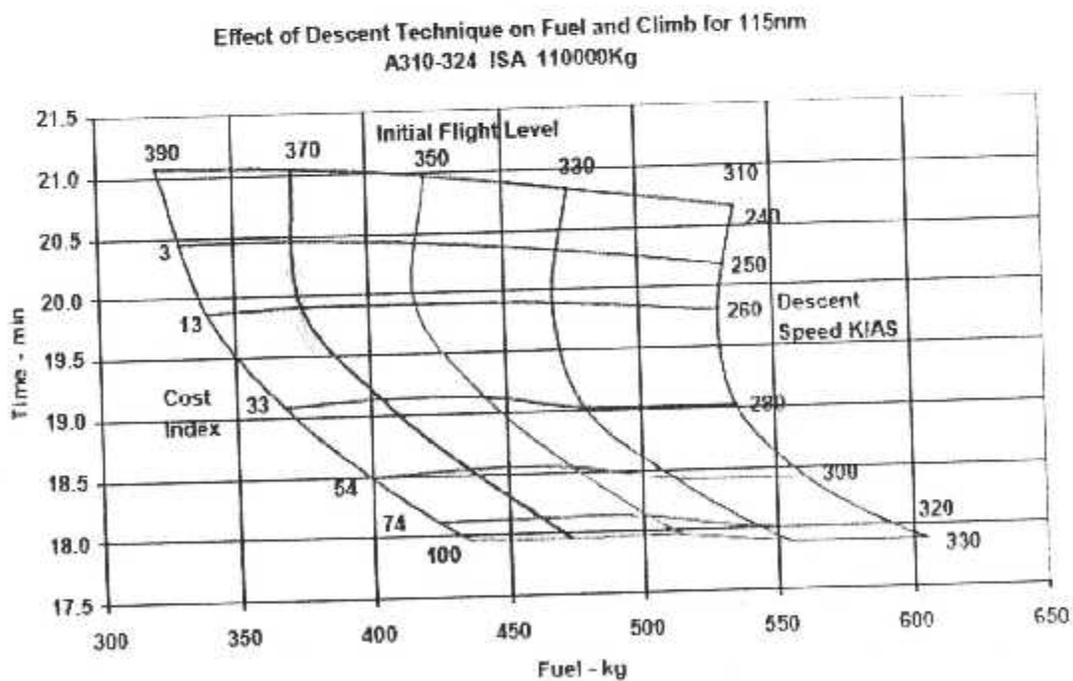


Figure 22 : Effets de la technique de descente sur la montée et la consommation carburant pour une distance de 115NM

Cependant il existe une pénalité significative de temps à ces vitesses.

Ces diagrammes de descente sont pratiquement les mêmes pour tous les avions d'Airbus. Généralement la vitesse à consommation minimum est comprise entre 260 et 280 kts pour le niveau de vol 310, réduisant à 240kts au niveau de vol 390.

Les exceptions sont les A318, les A319, les A320 et les A330, qui ont une consommation carburant minimum à 240kias pour tous les niveaux de vol.

Les tables suivantes affichent pour les différents avions d'Airbus, le temps et la consommation carburant pour la descente à partir du FL 350 en pourcentage, pour des vitesses variables par rapport à la vitesse optimale.

Type	ΔFuel – kg					
	240KT	260 KT	280 KT	300 KT	320 KT	330/340KT *
A300	-55	-60	-30	0	25	35
A310	-55	-60	-30	0	25	40
A318, 319, 320	-50	-40	-20	0	20	25
A321	-35	-40	-20	0	20	35
A330	-110	-105	-60	0	50	70
A340-200/300	-70	-90	-50	0	50	75
A340-500/600	-125	-130	-70	0	70	100

Type	ΔTime – minutes					
	240 KT	260 KT	280 KT	300 KT	320 KT	330/340KT *
A300	2.7	1.5	0.6	0	-0.4	-0.6
A310	2.4	1.4	0.6	0	-0.4	-0.6
A320 family	2.6	1.4	0.6	0	-0.4	-0.6
A330	3.5	2.0	0.8	0	-0.6	-0.8
A340-200/300	3.2	1.8	0.8	0	-0.6	-0.8
A340-500/600	3.3	1.9	0.8	0	-0.6	-0.8

* A300/A310/A320 330kias

A330/A340 340kias

Tableau 10 : Paramètres de temps et de carburant de la descente à FL350 pour différentes vitesses.

III-6-3-MODE DE DESCENTE CONTROLÉE:

Le FMS calcule le top de la descente (TOD) en fonction de l'index de coût. Nous notons que plus l'index de coût est élevé :

- Plus la trajectoire de descente est raide (plus la vitesse est haute)
- plus la distance de descente est courte
- plus le top de la descente est retardé .

L'exécution de descente est fonction de l'index de coût ; plus l'index de coût est élevé, plus la vitesse de descente est importante. Mais contrairement à la montée, le poids brut de l'avion et le niveau de vol de la descente semblent, avoir un effet négligeable sur le calcul de la vitesse de descente.

On peut noter que le temps de la descente dépend plus des index de coût comparé à la montée.

Pour la famille A300, A310 et A320 la vitesse à l'index de coût égal à zéro est approximativement de 250kias. Pour l'A330/340 elle est au alentour de 270kias. La vitesse maximum de descente correspond à un cost index compris entre 60 et 120. Une fois de plus ,le cost index réalise l'équilibre entre la consommation carburant et le temps de vol.

III-6-4-DESCENTE PREMATUREE :

Si l'avion commence sa descente trop tôt, il quitterait son niveau de vol optimum (où la consommation de carburant est minimale), et devrait évoluer a une plus basse altitude pour arriver au même point.

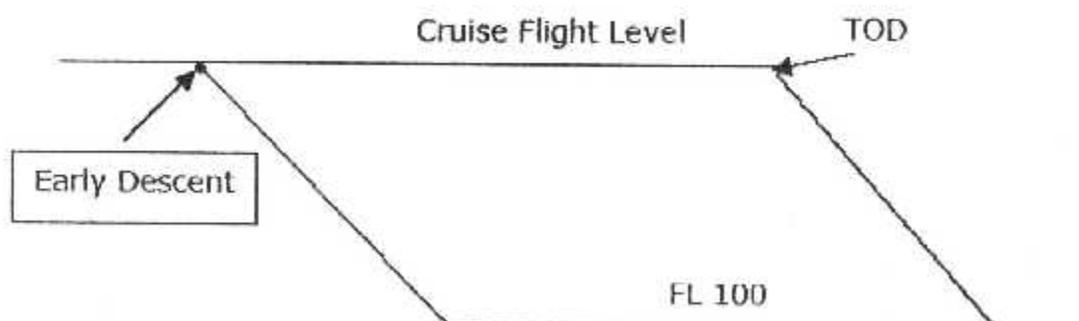


Figure 23 :profil de descente prématurée.

Deux situations de descente ont été simulées :

- La descente a débuté 15 Nm (ou environ 2 minutes) plus tôt suivi d'un palier au FL100.
- La croisière est poursuivie du point de descente prématurée jusqu'au TOD calculé par le FMS, suivi de la descente.

à 10000ft, la vitesse de croisière peut être choisie entre le LRC et la vitesse maximum.

Si on est en mode gestion, on peut continuer au même index de coût, ou choisir 250kias au dessous des 10000ft.

La table suivante compare les deux options.

Aircraft	250KIAS at FL100		LRC at FL100	
	Δ Fuel – kg	Δ Time – min	Δ Fuel – kg	Δ Time – min
A300-600	70	1.1	95	0.4
A310	70	1.1	90	0.3
A320 family	50	1.1	65	0.2
A330	80	1.2	100	0.5
A340-200/300	95	1.2	105	0.5
A340-500/600	135	1.2	125	0.5

Tableau 11 : Table de comparaison entre la descente en LRC et a 250Kias

La croisière, plus rapide à 10000ft réduit la pénalité de temps aux dépens du carburant.

III-7- L'attente :

III-7-1- Introduction :

Quand l'attente est exigée, elle est généralement effectuée sur «hippodrome», la connaissance du temps maximum de l'attente (maximum endurance) est un facteur déterminant pour n'importe quelle décision de déroutement. En conséquence, il est important, pendant l'attente, d'essayer de réduire au minimum le carburant en réduisant simplement au minimum le fuel flow.

Pour tous les avions, la vitesse minimum de consommation carburant est très proche de la vitesse de la finesse maxi appelée **green dot speed** comme montré ci-dessous.

En conséquence, dans la configuration volets rentrés, la vitesse standard d'attente est choisie comme étant équivalente à la vitesse du **(GD)**.

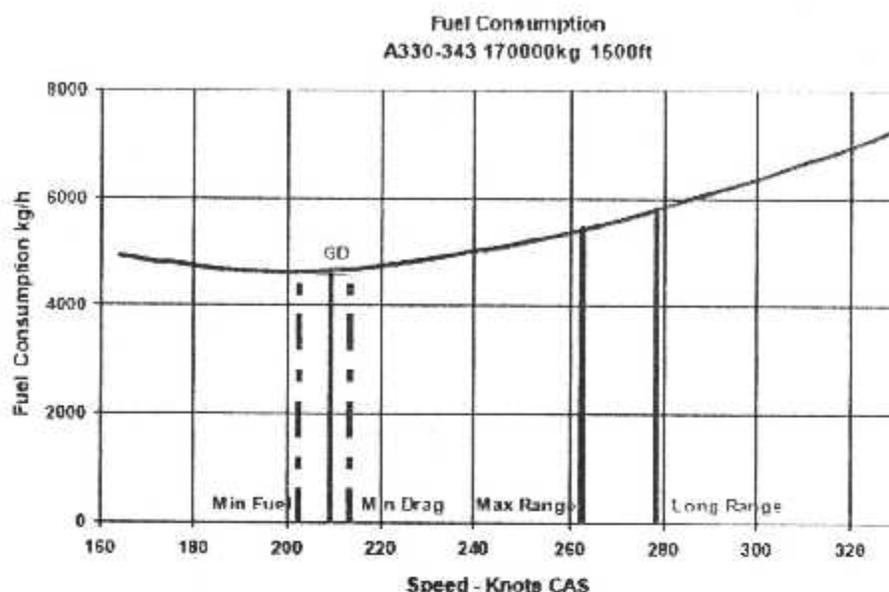


Figure 24 : Consommation carburant en fonction de la vitesse.

Le circuit d'attente peut être limité autour de certains aéroports à cause de la proximité de certains obstacles. Par conséquent, la vitesse **point vert** est parfois trop élevée, particulièrement pendant des phases de virage où l'angle de virage peut être trop significatif. Puisqu'il n'est pas possible de réduire de manière significative la vitesse au-dessous de la vitesse **point vert** dans la configuration volets rentrés, les slats peuvent être sortis et l'attente faite en CONF1 à la vitesse "S" (vitesse minimum de rétraction des slats Conf 1 à Conf rentré).

À d'autres aéroports, l'ATC peut exiger que l'attente soit exécutée à une certaine vitesse, ou il n'est pas évident d'optimiser entièrement la consommation carburant.

le FCOM a quatre combinaisons de configuration différentes de vitesse d'attente, adaptées à chaque type d'avion.

La table suivante donne les configurations et les vitesses pour chaque type.

Aircraft types	First Flap/slat Configuration		Clean configuration	
	Speed	Configuration	Speed	Configuration
A300-600	210kts	S speed	240kts	Green Dot
A310	170kts	S speed	210kts	Green Dot
A320 Family (CFM)	170kts	S speed	210kts	Green Dot
A320 Family (IAE)	170kts	S speed	210kts	Green Dot + 20
A330	170kts	S speed	210kts	Green Dot
A340-200/300	210kts	S speed	240kts	Green Dot
A340-500/600	240kts	S speed	-	Green Dot

Tableau12 : différentes vitesses et configurations de l'attente.

III-7-2- DIVERSES COMBINAISONS DE CONFIGURATION/VITESSE :

Les graphiques suivants montrent la variation du fuel flow a l'attente ,avec le poids pour les quatre configurations d'attente différentes. Ceci est fait à une altitude de 10000ft.

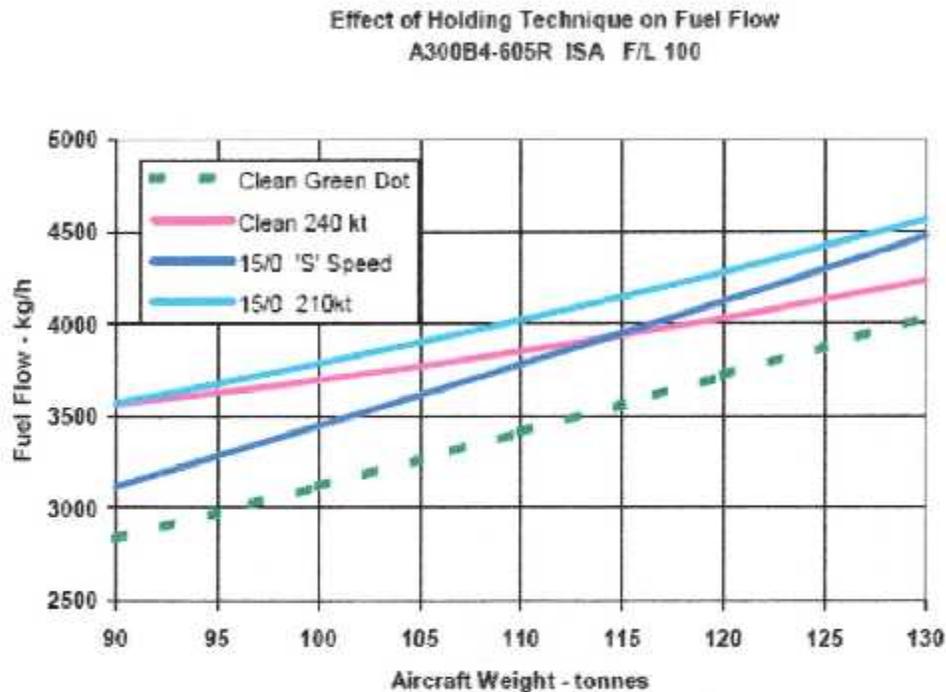


Figure 25 : Effets de la technique d'attente sur le flux carburant pour l'A300

Ce graphique est pour un A300 et il montre l'avantage de l'attente dans une configuration volets rentrés à la vitesse **green dot**. La vitesse fixée à la configuration volets rentrés est de 240kt est sensiblement plus haute que la vitesse **green dot**; en conséquence de l'augmentation du fuel flow avec cette technique.

L'A340-200/300 programme les mêmes vitesses d'attente que l'A300, et les graphiques ont une forme semblable avec une grande augmentation du fuel flow à poids réduit avec les techniques fixes de vitesse.

Le graphique suivant est pour l'A310 et montre des caractéristiques complètement différentes en raison des vitesses fixes inférieures utilisées dans chaque configuration.

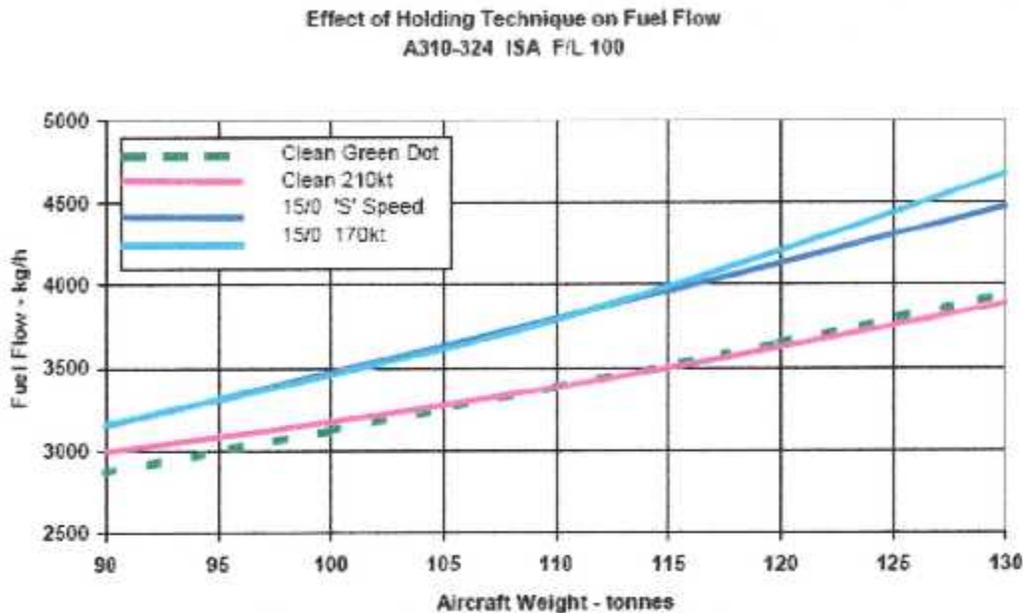


Figure 26 : Effets de la technique d'attente sur le flux carburant pour l'A310

Il y a également l'altitude à considérer, bien que ce ne soit souvent pas la décision de l'opérateur de déterminer quel niveau de vol se fait l'attente.

L'altitude a différents effets sur l'écoulement de carburant, selon la combinaison fuselage/moteur. Cependant, l'effet d'altitude, affecte généralement toutes les techniques de la même façon ; généralement plus l'altitude de l'attente est haute plus l'écoulement de carburant diminue.

La table suivante montre cet effet d'altitude pour une attente dans la configuration volets rentrés à la vitesse green dot. L'écoulement du carburant à l'attente est comparé aux plus bas pour les niveaux de vol considérés pour chaque type, et la différence exprimée en pourcentage.

Flight level	50	100	150	200	250	300	350	400
A300B4-605R	4	2	1	0	3	8	16	
A310-324	11	5	2	0	0	5	9	23
A318-111	13	8	4	2	1	0	0	5
A319-112	19	11	3	1	0	1	0	4
A320-214	13	5	3	1	1	1	0	2
A320-232	7	5	5	5	2	0	4	11
A321-211	14	11	8	3	0	1	5	
A330-203	2	1	0	0	2	4	8	18
A330-323	9	9	5	2	0	1	6	14
A340-343	10	5	1	0	0	2	7	16
A340-212	3	2	0	0	2	3	5	
A340-313E	2	1	0	0	2	3	5	
A340-642	6	2	0	1	2	3	4	11

Tableau 13 : Effet du niveau de l'attente sur l'écoulement carburant en pourcentage par rapport à l'optimum.

III-8- ECONOMIE DE CARBURANT :

La table suivante donne des exemples de l'économie possible par l'application des procédures et des pratiques correctes.

Cependant ces figures servent à illustrer l'importance de l'économie réalisée (ou des pénalités engendrées).

Les valeurs sont exprimées en kilogrammes de carburant par vol, suivant la longueur du secteur pour chaque type d'avion.

Fuel Savings Possible in the Pre-Flight phase

Item	Variation	A300	A310	A320	A330	A340-200/300	A340-500/600
Sector		2000nm	2000nm	1000nm	4000nm	6000nm	6000nm
CG	mid to aft	710	330	0	600	900	1550
Weight	-1% MTOW	380	250	100	800	1530	1920
EO Taxi	8 minutes	50	40	25	50	50	70
APU	3 min Grd Power	9	9	6	10	10	14
Ground Idle	3 min APU	18	18	9	15-24	3	9
Misrigged Slat	15mm to zero	90	90	60	270	270	270
Peeling Paint	1sq m slat to zero	12	12	8	60	60	60

Tableau 14 : Economie carburant dans la phase pré-vol.

Fuel Savings in the In Flight Phase

Item	Variation	A300	A310	A320	A330	A340-200/300	A340-500/600
Sector		2000nm	2000nm	1000nm	4000nm	6000nm	6000nm
TO Conf	Max to min F/S	15	15	10	24	-	50
Climb Rating	Derate 2 to full Climb	NA	NA	NA	30	120-320	445
Climb Speed	330 to 300kias	10	15	70	35	25	-10
Cruise Altitude	Optimum to -2000'	65	80	80	100	95	135
Cruise Altitude	Optimum to +2000'	90	60	25	145	30	25
Cruise Mach	Mecon+.01 to Mecon	230	430	40	330	900	2540
Delayed Climb	CFP to 500nm late	240	220	180	330	390	340
CG	mid to aft	710	330	0	600	900	1550
Descent Speed	Max to 300kt	35	40	30	70	75	100
Early Descent	CFP to 2min early	70	70	50	80	95	135
Hold	Green Dot Clean Conf	190	135	30	205	230	130

Tableau 15 : Economie carburant pendant la phase de vol

III-9- BENEFCES ÉCONOMIQUES :

Il se peut que 5 ou 10 kilogrammes de carburant supplémentaire par vol ne semblent pas significatifs en termes de consommation carburant total pendant le vol. Cependant cette économie s'accumule avec chaque vol.

Parfois l'économie pour un A340 apparaît comme étant supérieure à celle d'un A320. Mais un plus grand nombre de cycles de vol de ce dernier inverse cette tendance.

La seule manière d'évaluer l'impact d'une quelconque économie est de la considérer durant une période déterminée.

Le tableau suivant est un exemple typique d'une utilisation annuelle :

Utilisation	A300	A310	A320	A330	A340
Flying Hours/year	2600	3200	2700	2900	4700
Average sector - nm	2000	2000	1000	4000	6000
Average flight time - hr	4.5	4.6	2.4	8.5	13.8
No of sectors/year	580	700	1125	340	340

Tableau 16 : Paramètres annuels de différents Airbus.

La table ci-dessous affiche l'économie annuelle de carburant des différents types d'Airbus, si l'on se base sur les chiffres fournis par le tableau précédent, en supposons que le carburant est coté à \$1/us le galon (33cents/kg).

Savings/flight	A300	A310	A320	A330	A340
10kg	\$1920	\$2310	\$3720	\$1120	\$1120
50kg	\$9600	\$11550	\$18600	\$5600	\$5600
250kg	\$48000	\$57750	\$93000	\$28000	\$28000
1000kg	\$192000	\$231000	\$372000	\$112000	\$112000

Tableau 17 : Diminution des coûts grâce à l'économie de carburant pour différent type d'Airbus

III-10- CONCLUSIONS :

Il y a beaucoup de facteurs qui se rattachent à l'économie du carburant, ce chapitre nous a détaillé ceux reliés aux opérations aériennes.

Mais d'autres secteurs comme la planification des vols, et la maintenance contribuent à leur tour à réduire la consommation, par le choix des itinéraires et le bon entretien des moteurs.

Afin d'alléger ce fardeau, Airbus aide les compagnies aériennes par l'instauration de nouvelles techniques et procédures étudiées pour garantir une consommation minimum.

C'est à la compagnie d'essayer d'adapter ces techniques pour réaliser l'économie voulue.

Les fluctuations des prix du pétrole rendent la tâche difficile, une mise à jour mensuelle est donc nécessaire pour contenir les coûts dans des marges acceptables.

Chapitre IV :
Methodes de calcul du Cost Index

Chapitre IV: Methode de Calcul du Cost Index

IV-1-DEFINITION DU COST INDEX :

Le cost index est un paramètre qui, une fois injecté dans le FMS, nous renseigne sur l'équilibre ou le compromis entre le coût horaire, et le coût du fuel ,c'est pourquoi on comprend aisément qu'il soit calculé par le rapport des deux coûts .

Du fait de la diversité de la politique de gestion, ce paramètre varie d'une compagnie à une autre.

Il peut prendre plusieurs valeurs comprises dans différents intervalles comme :

- Entre 0 et 299 pour le B737.
- Entre 0 et 999 pour le B767.
- Dans notre cas il est compris entre 0 et 200 pour l'A330.

Parmi les différentes fonctions remplies par le FMS la fonction de gestion du vol (flight management) consiste à optimiser et à calculer:

- une vitesse et/ou un Mach cible pour la montée , la croisière ,et la descente,
- une altitude optimale,
- une altitude maximale.

Cette optimisation se fait en fonction de nombreux paramètres : masse, centrage, vent ,température... et le Cost Index (CI), qui est un des paramètres fondamentaux pour cette fonction.

Le CI est modélisé par le rapport :

$$CI = \frac{\text{Coût marginal à l'heure de vol}}{\text{Coût carburant}}$$

Il faut comprendre par coût marginal à l'heure de vol, le coût engendré par une minute (ou une heure) de vol supplémentaire :il comprend en particulier (liste, non exhaustive):

- le coût équipage ,
- le coût leasing éventuel de l'avion,
- le coût de la maintenance,
- le coût du retard...

IV-2-RELATION ENTRE LE COST INDEX ET LE NOMBRE DE MACH OPTIMAL:

L'expression du coût direct d'une étape:

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

Pour une distance de 1 NM on aura :

F: Consommation distance (lb/NM)

$$F = \frac{1}{R_s} \quad \text{ou } R_s: \text{ rayon d'action spécifique.}$$

$$T = \frac{1}{V_s} \quad \text{ou } V_s: \text{ vitesse sol.}$$

D'où:

$$C(1 \text{ NM}) = C_f \cdot \frac{1}{R_s} + C_h \cdot \frac{1}{V_s} + C_i$$

Le but est de trouver le nombre de Mach qui minimise le coût total c'est à dire :

$$\frac{dC}{dM}(M_{opt}) = 0$$

$$\text{ou bien: } C_f \cdot \frac{d\left(\frac{1}{R_s}\right)}{dM} + C_h \cdot \frac{d\left(\frac{1}{V_s}\right)}{dM} = 0$$

$$V_s = a \cdot M + W \quad \text{ou } a: \text{ vitesse du son.}$$

$$W: \text{ vitesse du vent.}$$

Il en résulte :

$$C_f \cdot \frac{d\left(\frac{1}{R_s}\right)}{dM} - C_h \cdot \frac{a}{(a \cdot M + W)^2} = 0.$$

D'où la relation entre Mach et cost index :

$$CI = \frac{C_h}{C_f}$$

D'où:

$$CI = \frac{d\left(\frac{1}{R_s}\right)}{dM} \cdot \frac{(a \cdot M + W)^2}{a}$$

IV-3-METHODES DE CALCUL :

-Si la compagnie décide d'adopter un cost index aussi précis que possible , il existe deux possibilités qui s'offrent à elle :

-Une **analyse spécifique** des coûts ,des routes, et des avions, ajustée au réseau ,et à l'environnement économique que seule la compagnie connaît parfaitement .

- Une **étude approximative**, par la répartition des routes dans les trois intervalles :low, medium, high, que la compagnie décide d'adopter comme approche.

On appelle ces derniers, « **les options de calcul du cost index** ».

- Une **révision périodique** est nécessaire pour garder le cost index dans une marge acceptable.

- On distingue plusieurs manières d'utilisation du cost index qui varient selon les compagnies , quelques cas sont citées ci-dessous:

- Utiliser un cost index se rapprochant du long range cruise(LRC).

- Utiliser un cost index compris entre maxi range cruise (MRC)et LRC.

- Un cost index élevé si nécessaire, sans faire cas de la consommation carburant.

- Un cost index variant selon les variations des prix carburant ,sans prendre en compte le facteur temps.

- Adopter un cost index qui s'adapte aux vitesses utilisées lors de la croisière.

IV-4-calcul du Cost index

Les formules utilisées sont celles de SPERRY -HONEYWELL ou celles de SMITHS . La première a une plage comprise entre 0 et 999, sans dis que la deuxième s'étend de 0-99 .

$$Ci = \frac{C_h}{C_f}$$

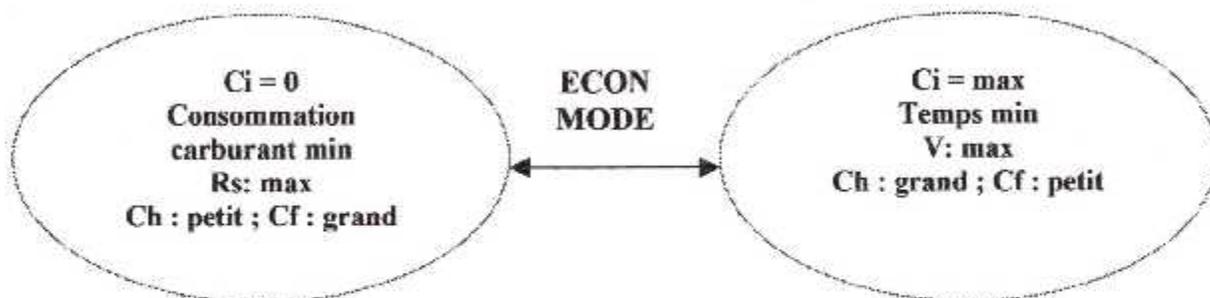
Les unités sont :kg/min ou 100 lb/h.

- Les cas extrêmes :

1) **CI = 0** : ou pratiquement, lorsque le coût horaire est petit et que le coût carburant est important, ou lorsqu'on veut voler, à un mode 'minimum fuel' pour un rayon spécifique maximum(MRC) ,c'est le cas ou le coût du fuel a une grande influence sur la facture des opérations, le Mach associe est le Mach Maxi Range, il peut être utilisé au cours d'une attente imprévue.

- 2) **CI =MAX** : lorsque le coût carburant est petit ,et que le coût horaire est important, ou lorsqu'on veut voler à un mode à temps minimum, pour une vitesse Max (MMO-0.02=M 0.82 pour A300-600,A310,M 0.84 pour A330/340).

Le cost index fournit un outil flexible pour contrôler la consommation et le temps de vol, entre ces deux extrêmes la connaissance de la structure et des dépenses de la compagnie est essentielle pour optimiser le coût, par l'augmentation de la consommation carburant ,ou la réduction du temps de vol et vis versa .



- Le coût fuel peut varier d'une manière significative d'un secteur a l'autre durant l'année, c'est pourquoi, les compagnies adoptent des cost index différents pour chaque routes.
- Airbus fournit des réajustements réguliers du cost index a ces clients ,qui n'appliquent pas toujours ses consignes par ignorance de l'importance du cost index.
- Les efforts pour calculer un cost index se rapprochant de la réalité ,ont abouti a un concept efficace qui traite ce coefficient à travers trois plages (low, medium ,high), sans avoir à effectuer les calculs méticuleux des fractions du temps par la consommation ,cette approche sera détaillée plus tard .

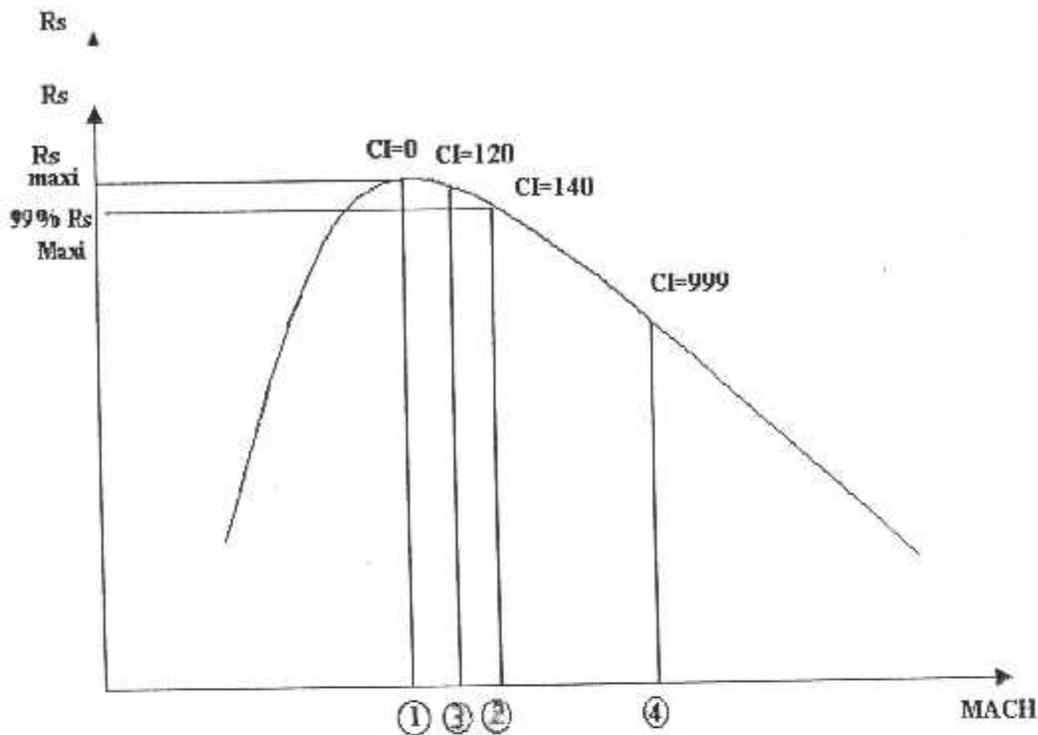


Figure1: Relation entre le RS et le Mach

Sur cette courbe ,figure:

- 1-Mach permettant le meilleur rayon d'action spécifique :
Mach de Maxi Range (CI=0).
- 2- Mach permettant d'avoir 99% du meilleur rayon d'action spécifique :Mach de Long Range(le CI correspondant a ce Mach est sensiblement egal a 140 pour le B747-400).
- 3-Mach ECON CRZ correspondant au CI retenu actuellement par la compagnie(120), qui se trouve dans la plage Mach de MAXI RANGE/MACH de LONG RANGE.
- 4- le CI maximum (999) correspondant suivant l'altitude, soit a un mach proche de MMO ou a l'IAS 350 kt.

IV-5-METHODE APPROXIMATIVE :

- Il serait préférable de traiter chaque routes exploitée par la compagnie individuellement, mais une méthode approximative d'utilisation de tables peut donner des résultats assez satisfaisants.

A330/A340

Les coûts d'exploitation des deux modèles sont presque identiques : équipage, et maintenance (moteurs et cellules).

Les valeurs du tableaux sont calculées à partir données suivantes:

$$10 \leq \text{Coût équipage} \leq 20 \text{ (US\$/min)}$$

$$+ 7 \leq \text{Coût maintenance} \leq 17 \text{ (US\$/min)}$$

$$17 \leq \text{coût horaire} \leq 37 \text{ (US\$/min)}$$

NB : composition équipage = 2 ou 3 équipage cockpit + 10 (± 2) équipage cabine.

Coût horaire (US\$/min) Coût fuel (US\$/USG)	LOW < 20	MEDIUM 20 < to < 30	HIGH > 30
LOW < 0.7	90	110	130
MEDIUM 0.7 < < 0.9	70	100	120
HIGH > 0.9	60	80	100

**Table1: A330/A340 cost index
(kg/min)**

Exemple de calcul du cost index pour l'A320 :

$$\text{Cost Index} = \text{coût horaire} / \text{coût Fuel} .$$

- Les coûts horaires incluent toutes les dépenses influant directement sur l'heure de vol, comme le coût équipage, coût maintenance ...etc. ils sont généralement exprimés en \$/min :

- Equipage \$ 7/min
- Maintenance \$15/min

- Coût horaire total \$22/min

Le coût du fuel est exprimé en \$/Kg e.g.: \$0.60/kg

Donc le Cost Index devrait être de: \$22/min diviser par \$0.60/Kg = CI de 37.

IV-6-Emport du carburant supplémentaire :

L'emport de carburant supplémentaire (a déjà été détaillé dans le chapitre précédent) a un rapport direct avec le calcul du Cost Index.

On sait que le Cost Index est le rapport du coût horaire par le coût carburant, ce dernier varie d'un aéroport a un autre ,c'est pourquoi dans certains cas il est préférable d'emporter un surplus de carburant, quand l'opération s'avère lucrative.

Pour cela, il faut faire cas du coefficient de transport et de la différence de prix pour éviter de consommer le carburant prévu pour le retour.

Pour mieux illustrer cette idée, on va prendre un exemple pratique.

On considère un vol reliant Alger -Athènes- Damas ,si le prix carburant :

Alger	401,39 DA/HI
Athènes	582,03 DA/ III
Damas	733,09DA/HI

Si le délestage nominal Alger - Athènes est de 11,2t ,on transporte 18,5t de carburant supplémentaire dont 1,4t est consommé pendant l'étape ,le coefficient de transport est de:

$$\frac{11,2+18,5}{11,2+17,1} = 1,05$$

Donc le prix a prendre en compte va être 5% plus élevé que le prix réel ,soit :

$$401,39 \times 1,05 = 421,46 \text{ DA/III}$$

K est le coefficient de transport :

$$K = \frac{\Delta IOP}{\Delta LI}$$

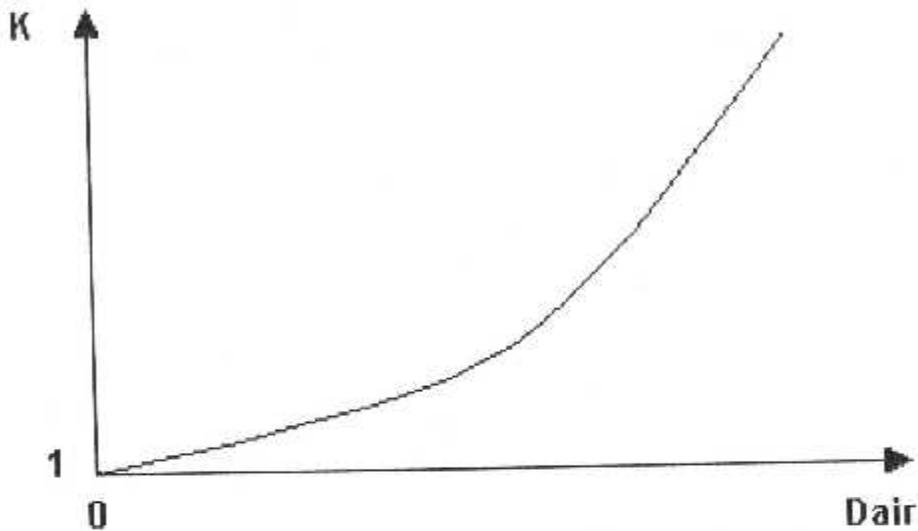


Figure 2: Variation du coefficient de transport en fonction de la distance.

IV-7-CONCLUSION :

Nous avons vu à travers ce chapitre les différentes méthodes de calcul du cost index, qui sont :

-Méthode approximative '**easy way**': facile d'utilisation ,rapide ,et est assez satisfaisante par l'utilisation des tables et des graphes.

-Méthodes d'analyse spécifique '**hard way**': précise ,qui exige une étude économique détaillée de la compagnie, ainsi que la connaissance des paramètres d'entrée (coûts).

Le calcul d'une valeur exacte de CI en fonction des coûts réels d'un vol donné (difficile en tout état de cause a connaître avec précision) n'est pas justifié ,tant que l'importance relative de différentes composantes du coût marginal a l'heure de vol et du coût carburant n'est pas fortement modifié .

Ainsi d'une valeur de référence de CI ,déterminée a partir de valeur économique moyenne est suffisante.

En revanche ,lorsque les conditions opérationnelles modifient de façon importante l'équilibre entre coût lies a l'heure de vol et coût carburant , le CI peut être utilise pour adapter pour un vol donne la vitesse aux conditions particulières de réalisation (modulation de la vitesse du vol en fonction du temps d'arrivée estime afin de respecter l'objectif de ponctualité ,ou pour d'autres raisons...).

Chapitre V:

Relation entre le FMS et le Cost Index

Chapitre V: Relation entre le FMS et le cost index

V-1- Présentation du système FMS :

Les systèmes précurseurs des FMS (B737, A300) se composaient d'une part d'une aide à la navigation de surface (RNAV) et d'autre part du système d'optimisation du profil vertical du vol (performance management Système « PMS »).

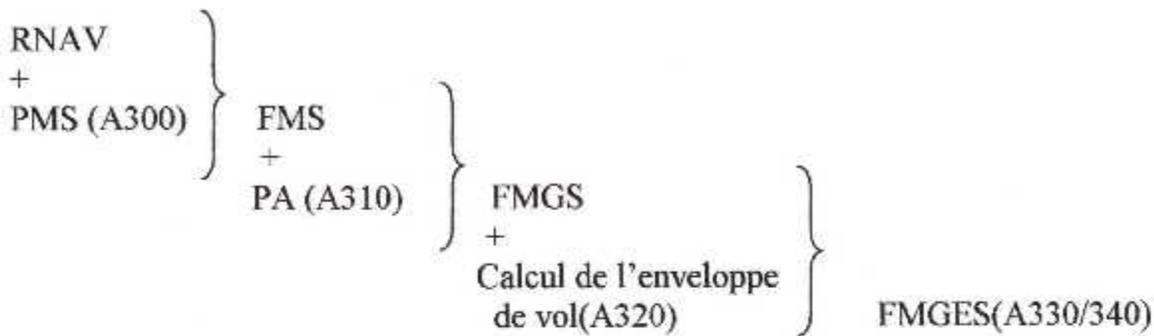
Les premiers permettaient la définition d'un plan de vol simplifié et fournissent à l'équipage des informations d'état instantané (position, vitesse, écart latéral de route (STK) et écart d'angle de route (TKE), ainsi que des prévisions (temps estimé de passage au dessus d'un point de report WPT).

Les seconds, souvent du type « advisory », proposaient au pilote des consignes de vol optimisées (niveau de croisière, vitesse, régimes moteurs correspondants) compatibles avec le plan de vol et les conditions atmosphériques (présence de vent).

L'intégration des calculs nécessaires à la gestion du vol sur un unique calculateur et le développement de nouvelles fonctions ont conduit à l'apparition des systèmes de gestion de vol dits (Flight management systèmes « FMS ») comme ce fut le cas sur le B767 ou l'A310 en 1985. Ceci a conduit à l'intégration des interfaces de ce nouveau système avec l'équipage : nouvel indicateur de situation horizontale (EHSI ou ND) et l'introduction d'un boîtier de commande et d'affichage (Control & display Unit - CDU)

C'est simultanément que sont approuvés les avions de transport à commandes de vol électriques (CDVE) utilisant des calculateurs de plus en plus puissants et fiables, et que les fonctions de gestion du vol et les fonctions de pilotage automatique ont été intégrées dans un même système (flight management & Guidance systems - FMGS, pour l'A320 en 1988). Cette tendance s'est poursuivie par l'intégration des fonctions liées aux protections du domaine de vol (Flight Management, Guidance & Enveloppe System - FMGES pour l'A330/340 en 1993). Toute fois il faut noter que d'un point de vue fonctionnel, chaque sous-système (pilotage, protection et gestion automatiques) gardent leur identité propre.

-Pour l'évolution des systèmes de gestion de vol chez Airbus on a :



- Le FMS est un système embarqué permettant la gestion du vol aussi bien dans le plan horizontal que vertical. Par l'intermédiaire d'un calculateur puissant, le vol peut être ainsi optimisée. Couplé au pilote automatique et aux auto manettes, le FMS permet à l'avion de suivre une trajectoire précise dans le plan horizontal (mode NAV) et une trajectoire optimisée dans le plan vertical (mode PROFILE) en fonction des conditions réelles du vol (masse réactualisée continuellement) et des conditions météorologiques du moment (vents et températures en temps réel).

Initialement, avant le vol, le pilote insère par le biais d'un CDU (Control Display Unit, interface entre le pilote et le calculateur du FMS), un plan de vol ou une compagnie route (plan de vol préétabli par la compagnie auquel il suffit de rajouter le départ (SID) en fonction de la piste, et l'arrivée (STAR) en fonction de la piste).

Au cours du vol le pilote peut selon les conditions rencontrées de vol :

- Suivre le plan de vol initialement prévu ;
- Infléchir une partie ou la totalité du vol afin de s'adapter au vol (trajectoire directe - accordée par le contrôle, évitement d'une masse nuageuse, recherche d'un niveau optimal, respect d'une contrainte imposée par le contrôle (altitude, facteur temps, etc.).
- Recevoir de la part du système FMS des informations concernant des anomalies du système lui-même, des impossibilités de respect de contraintes, des informations continues (heures estimées de passage de points et d'arrivée, temps d'attente possible à destination. Quantités de carburant restantes et consommation sur le trajet. Terrains les plus proches. Etc....).

- Avec toutes ces informations, le pilote dispose de tous les éléments pour gérer son vol d'une façon plus sereine. Il reste ainsi disponible pour prendre des décisions stratégiques agissant sur le long terme, ou tactique agissant sur le court et moyen terme.

Autre fois réservé pour les avions de ligne long courrier, le FMS est maintenant considéré comme un système à part entière. On le trouve ainsi sur tous les avions

nouveaux, y compris ceux des compagnies dites régionales. Le FMS doit être considéré comme une aide appréciable à la réalisation d'un vol.

Il ne doit en aucun cas devenir au cours d'un vol une gêne quelconque. Si tel est le cas, il vaut mieux sortir des modes FMS (NAV et PROFILE) afin de suivre scrupuleusement une trajectoire, plutôt que passer son temps le nez sur l'écran !

L'utilisation d'un FMS ne pose pas de problèmes majeurs. Par contre connaître les nombreuses possibilités de ce système avant une première qualification sur un avion disposant d'un FMS, est un atout important.

Enfin, les principales fonctions réalisées par le FMS sont :

- la construction du plan de vol.
- les séquences du plan de vol.
- l'élaboration de prévisions et l'optimisation des performances.
- l'initialisation (alignement initial au sol) des centrales inertielle.
- La sélection autour des moyens RNAV.
- L'émission d'informations pour l'équipage(EFIS et écran CDU).
- L'émission d'ordres de pilotage et guidage vers le pilote automatique, directeur de vol et l'auto manette constituant, elle, la partie guidage .

V-2-Constitution du FMS :

L'architecture du système FMS est articulée autour de deux (ou trois) FMC (Flight Management computer) associés à deux (ou trois) CDU (Control Display Unit); le tout relié au pilote automatique. Ces calculateurs sont en relation permanente par la ligne d'intercommunication (Cross Talk).

Les calculateurs FMC, contenant de la mémoire morte et vive, sont alimentés par de nombreuses sources telles que:

Capteurs de navigation (associés aux IRS : Inertiel Référence System ou autre moyen – AHRS : Attitude Heading Référence system) .

- Récepteurs ILS.
- Récepteurs VOR-DME.
- Capteurs de conditions de vol (réactualisation de la masse avion par les fuel flow ou jaugeurs carburant, masse introduite initialement par le pilote au parking et températures ambiantes fournies par les ADC (Air Data Computer). Montres (heure et date).
- GPWS, etc.

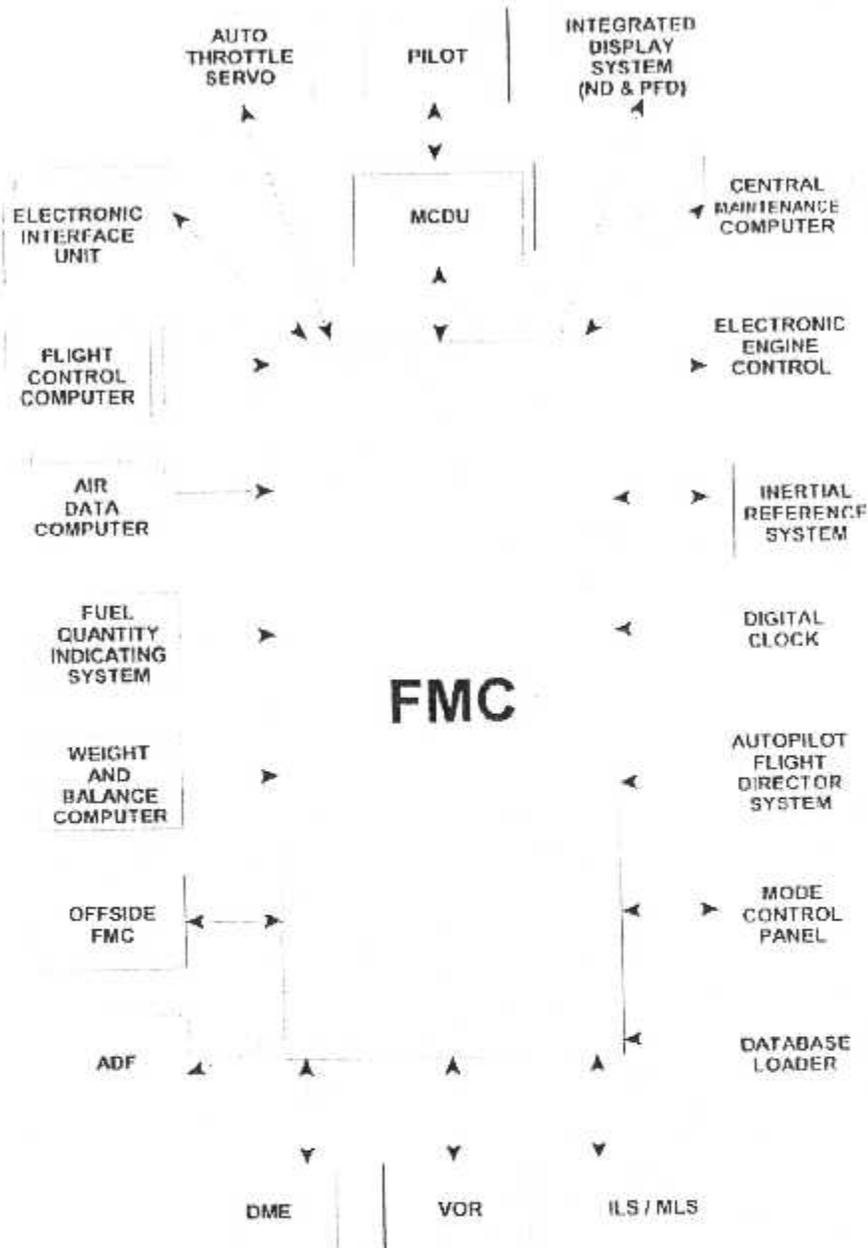


Figure 1 : Schéma du FMS

Les calculateurs FMC ont besoin pour leurs calculs d'une importante banque de données (Data Base) contenant :

les paramètres de l'avion (paramètres aérodynamiques, paramètres moteurs, poussées et consommations).

Les informations d'infrastructure (voies aériennes, Points de report, balises VOR-DME , balises ADE aéroports , procédures de départ et d'arrivée (SID et STAR. etc).

Les routes compagnie.

La banque de données relative à l'infrastructures (Nav Data) est remise périodiquement à jour (une fois par mois) à l'aide d'un chargeur de base de données (Data Loader).

V-3- Interfaces du système FMS:

Les principales interfaces du système FMS sont:

L'EFIS (Electronic Flight Instrument System) avec :

- L'image ND (Navigation Display) représentant la situation à la fois dans le plan horizontal , l'avion y est représenté dans son environnement de navigation (L'itinéraire prévu avec ses way-points, balises les plus proches, aéroports les plus proches, distance et cap pour rejoindre le prochain point du plan de vol, les différentes contraintes d'altitude, le vent calculé à l'altitude, les vitesses propres et sol de l'avion, etc.).
- L'image PFD (Primary Flight Display) représentant l'horizon artificiel avec la maquette de l'avion ,les vitesses ,les altitudes ,et les modes engagés de l'autopilote .
- Le CDU (Control Display Unit)qui est l'interface de dialogue entre le Pilote et le calculateur du FMS.

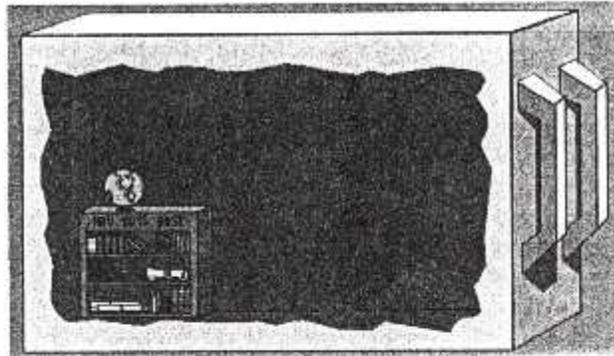


Figure3 :Image représentative de la base de données de navigation.

L'autre Contenant les informations relatives aux performances:

- Les données avion (concernant moteur et caractéristiques aérodynamiques) ;
- La traînée ;
- Les altitudes maximums et optimums ;
- Les vitesses maximums et minimums ;
- Les données atmosphériques.

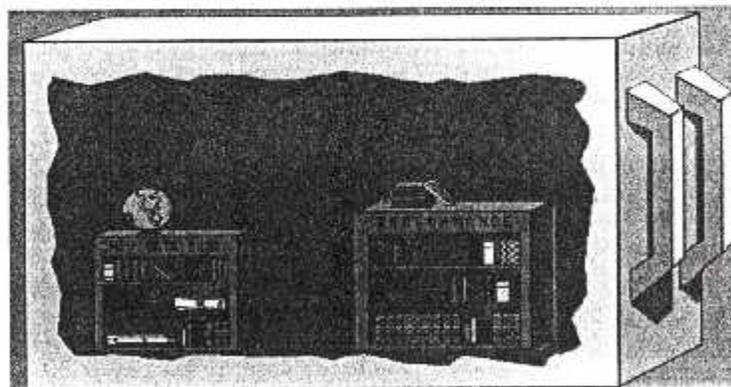


Figure4 :Image représentative de la base de données de performances

L'objectif de la base de données navigation et performance est un support, permettant à l'équipage de remplir, toutes les données relatives à un plan de vol, ainsi le FMC se chargera d'effectuer un calcul optimal de la route.

V-5-Cost Index et FMC:

Lors de la préparation du vol le pilote introduit dans la page INIT le cost index pré calculé par la compagnie ,qui va gérer tous les paramètres de vol d'une manière automatique ,pendant les différentes phases de vol (montée ,croisière ,décente) . Les informations seront directement calculées à partir de la base de données performance, réajustées en fonction des différentes valeurs du CI, ainsi le FMC va introduire un critère d'optimisation selon le CI utilisé ;dans la partie suivante on va détailler quelques graphiques utilisés à cet effet.

Variation du coût du vol avec un coût carburant fixe :

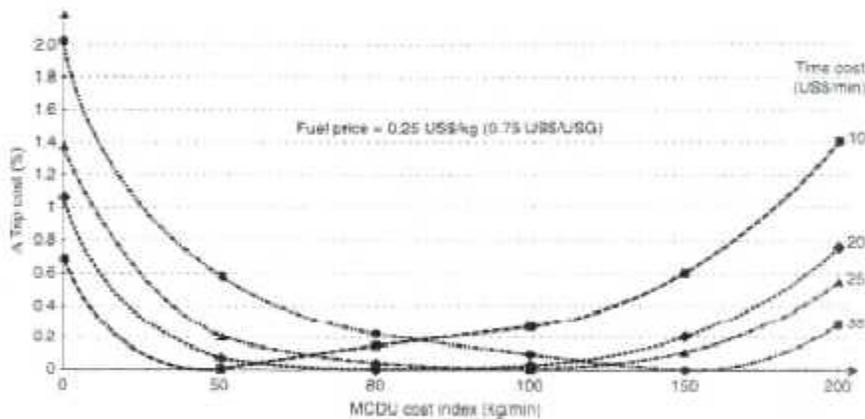


Figure 5: Variation du coûts du vol en fonction du cost index et des coûts horaires

On remarque aisément, qu'un coût horaire important implique un cost index important pour réaliser plus d'économie.

Pour les régions aplaties des courbes précédentes ,la pénalisation sur le coût du vol est négligeable lorsqu'une erreur est commise dans les coûts horaires . On appelle ces régions « **les zones a moindre risque** ».

Les répercussions d'une perte de 0.2% sur un vol unique ,est négligeable mais son effet est amplifié si on considère toute la flotte pendant une année.

Variation du coût du vol avec un coût horaire fixe :

Cette partie montre l'importance d'adopter un cost index pour chaque route exploitée par la compagnie (à cause de la différence du prix carburant pour chaque destination).

Le graphique suivant illustre la variation du coût du vol ,pour différent prix carburant.

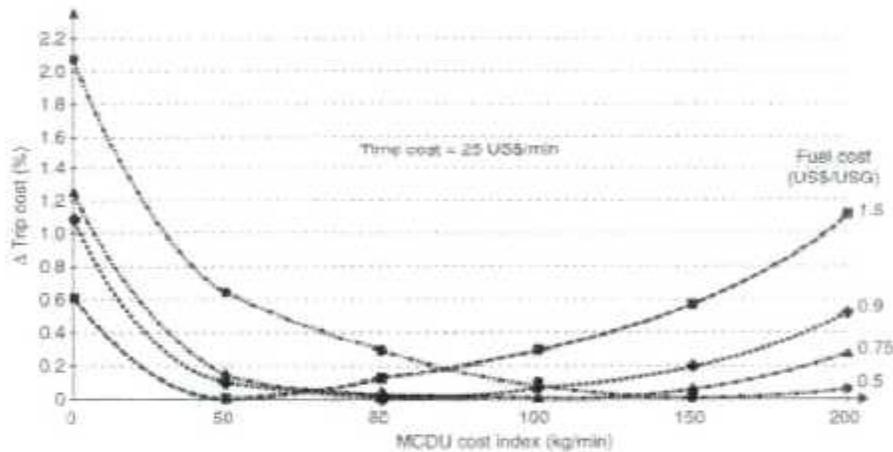


Figure 6 :variation du coûts du vol en fonction des coûts carburant et du cost index

D'une manière similaire, on remarque que plus le coût carburant est faible, plus le cost index est important afin d'obtenir un coût d'exploitation faible.

En résumé , si on prend une moyenne des coûts horaires pour chaque type d'appareil d'Airbus, on peut dire que le coût carburant a une grande influence dans la détermination du cost index , et spécialement lorsque sa valeur dépasse 1US\$/USG.

V-6-Exploitation du COST INDEX par le FMC en montée :

-Le tableau suivant , montre les différents paramètres calculés par le FMS (vitesse , carburant , distance) pendant la montée :

Type Avion Masse décollage	Cost Index (kg/min)	Segment montée			CAS/MACH	Taux de montée (ft/min)
		Fuel (kg)	Temps (min)	Distanc e (NM)		
A 330 PW 4168 200 000 kg	0	3568	19.07	122.3	293/.761	963
	50	3773	20.02	134.6	309/.800	943
	80	3886	20.5	141	320/.812	917
	100	3927	20.74	143.3	320/.818	896
	150	4005	21.25	147.8	320/.827	837
	200	4068	21.68	151.5	320/.833	786

Tableau 1: exploitation du Cost index par le FMC en montée.

-Vu le changement des valeurs d'une manière radicale, avec les conditions de vol(niveau de vol, masse décollage ,température, vent...) les valeurs les plus représentatives, sont la différence dans le temps et la distance entre différents cost index, qui sont pratiquement invariables.

V-7-Exploitation du COST INDEX par le FMC en croisière :

Le FMS gère la vitesse de croisière suivant la masse de l'avion,le niveau de vol, le vent,et le cost index;on va voir dans cette partie l'influence de ces quatre paramètres ,sur la vitesse économique ,en vue d'adapter le vol a des conditions extérieures.

V-7-1-Relation entre le Cost index et la vitesse de croisière:

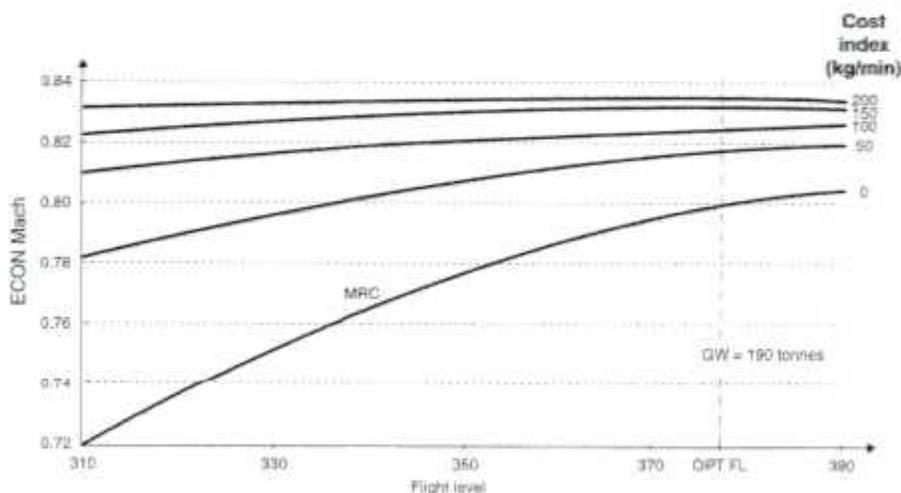
En général, on peut dire qu'à un cost index donné:

- plus haut est le niveau de vol, plus grand est le mach ECON.
- plus lourd est l'avion, plus grand est le mach ECON.
- le graphe suivant (mach ECON=f(ci)) pour l'A330 illustre ces points.

a)-A une masse donnée :

- Dans la figure suivante,on peut voir clairement la variation du mach ECON,a différents CI ,pour une multitudes de niveaux de vol.

**Figure7 : Mach Econ en croisière en fonction du CI
A330-322/PW4158**



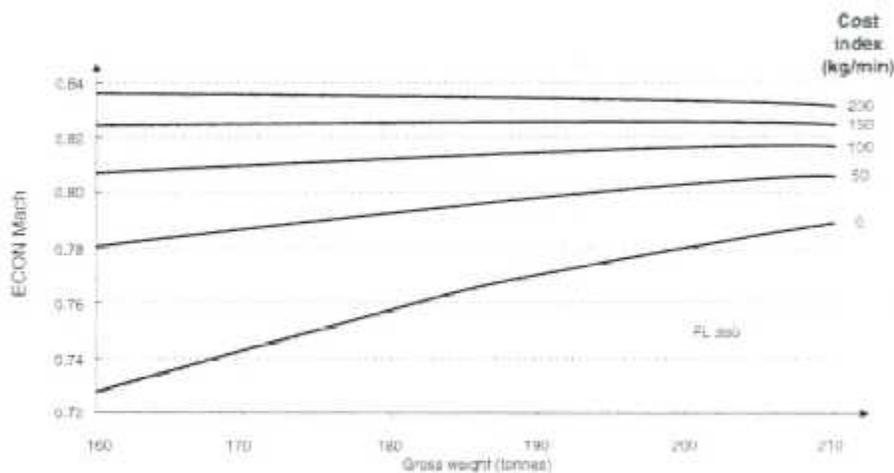
-Cette figure montre clairement l'importance du suivi de l'altitude optimale, on peut évidemment remarquer que la vitesse ECON est très sensible au cost index, quand on vole au dessous de l'altitude optimale, spécialement pour les CI faibles, cet effet est réduit au alentour et au dessus du niveau optimum.

De plus, la vitesse optimale augmente lentement avec le niveau de vol, pour des CI élevés qui induisent une variation linéaire du mach en adoptant une montée en palier.

(b) -A un niveau de vol donné:

- Dans la figure suivante, on peut voir clairement la variation du mach ECON, à différents CI, en fonction de la masse de l'avion.
Elle montre une indication sur la variation de mach ECON à un niveau de vol fixe et pour différentes masses.

**Figure 8 : ECON cruise Mach en fonction du CI
A330-342/RR772**



- Cette figure montre clairement que le **mach ECON de croisière reste pratiquement constant** pendant le vol, pour différents niveaux de vol et différentes masses.
- Cette variation est d'autant plus importante à des cost index faibles.

V-7-2- L'effet du vent sur la vitesse ECON :

- le but du cost index étant de trouver le compromis entre le prix carburant, et le prix de l'heure de vol, le nombre de mach ECON résultant tient compte du vent actuel, pour intégrer la vitesse sol.

-La figure suivant explique mieux cette idée.

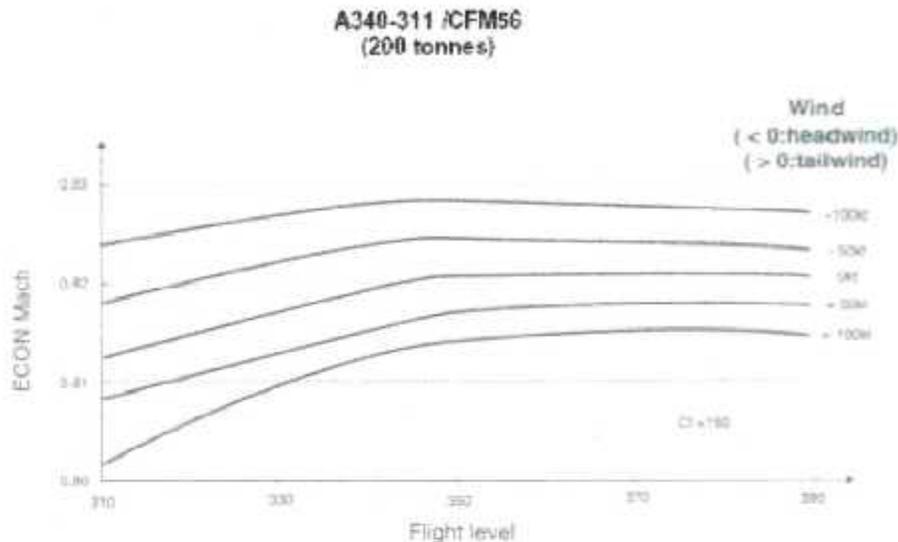


Figure 9 : Mach Econ en fonction du niveau de vol

On remarque :

- Un vent de face, engendre une vitesse ECON élevée.
- un vent arrière, engendre une vitesse ECON faible.

-Dans le cas d'un vent de face, l'augmentation de la consommation du fuel (a cause d'une vitesse importante) est compensée par la réduction du temps de vol en terme de cost index.

La correction du Mach ECON par rapport au vent pour tous les Airbus est de l'ordre de :

- +1/2 point de Mach par 50kt vent de face.**
- 1/2 point de Mach par 50kt vent arrière.**

Nb : le pilote doit faire très attention au nombre de mach, lorsque le vent de face est très fort, et le cost index élevé.

Généralement le mach ECON est toujours limité à MMO-0.02.

V-8- Exploitation du COST INDEX par le FMC en descente :

V-8-1-Relation entre cost index et le profile de descente :

-On va voir l'influence du cost index dans le profil de descente exprimé dans la figure suivante, et on notera comment le FMS calcule le top of descent **TOD**, en fonction du cost index.

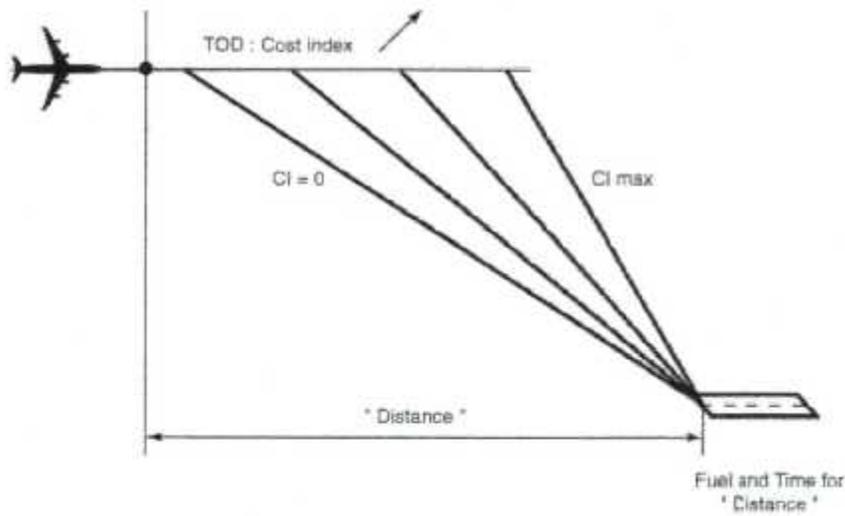


Figure 10 : PROFILES DE DESCENTE

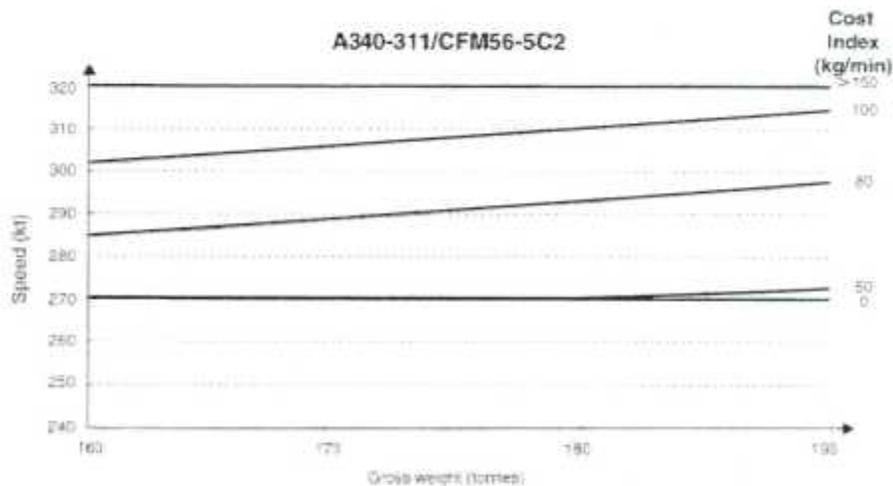
On remarque que plus le cost index est grand :

- plus la pente est raide (vitesse élevée).
- plus la distance de descente est courte.
- plus le TOD est retardé.

V-8-2-Variation des paramètres de descente en fonction du cost index :

- Comme pour la montée, les performances de descente sont fonction du cost index .
- Plus le cost index est important, plus la vitesse de descente est grande ,mais contrairement a la montée , la masse avion et le niveau de vol du TOD ont un effet négligeable dans le calcul de la vitesse de descente.

Figure 11 : Vitesse ECON de descente en fonction du CI



-La table suivante, montre les différents paramètres de descente (temps, vitesse, distance, fuel...) calculés par un logiciel de performances en vol (indépendamment du FMS).

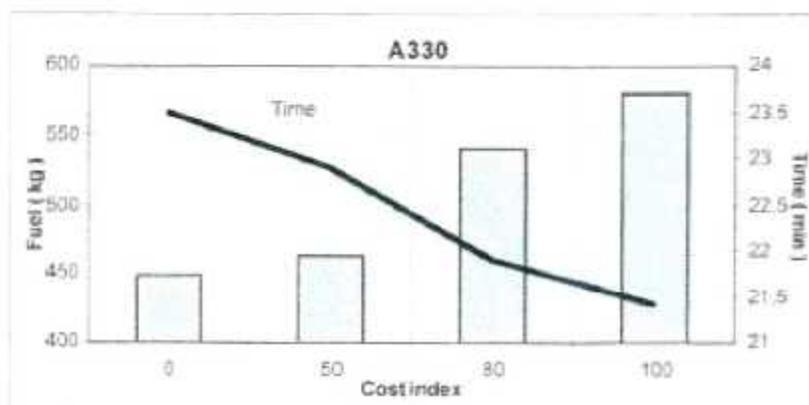
La limite de la vitesse de descente pour la vitesse ECON, est de VMO-10kt, elle est de 320kt pour l'A330, et est atteinte au cost index maximum sans varier avec des cost index plus élevés.

**Tableau 2 : PARAMETRES DE DESCENTE DU FL370
ISA, VENT NUL
250KT AU DESSOUS DU FL 100**

Type d'avion (M décollage)	Cost index (kg/min)	Segment de descente			Descente avec segment de croisière		Mach/cas
		FUEL (kg)	TIME (min)	DISTANCE (NM)	FUEL (kg)	TIME (min)	
A330 PW 4168 170 000 kg	0	499	23,5	135	449	23,5	0.774/270
	50	444	22,7	134	463	22,9	0.809/281
	80	427	20,5	125	540	21,9	0.819/307
		420	19,6	121	580	21,4	0.823/320

-Les valeurs du temps, distance, mach, consommation fuel, varient beaucoup avec les conditions de vol, comme le niveau de vol du TOD, température, et vent, mais ils sont moins sensibles aux variations de la masse de l'avion.

**Figure 12 :
PARAMETRES DE DESCENTE POUR LES MEME POINT DE LA CROISIEE
(FL 370, condition ISA. vent nul.250kt a FL100)**



-On note que la différence du temps de descente entre un cost index bas, et un autre élevé, est de 2 min.

-La table suivante montre la différence en temps, et en fuel, ainsi que le gain pour divers cost index, pour un TOD situé au même point géographique.

	Time (min)/Fuel (kg) A partie du 1 ^{er} TOD (CI=0)		Différence entre un cost index bas et élevé			
	CI = 0	Cost index le plus élevé	Gain de temps	Fuel		
A330	23.5	449	21.4	580	2min 10s	130

Tableau 3 :Paramètres du CI en descente.

-Cependant pour obtenir un calcul précis du TOD par le FMC, on doit insérer les vents pour différents paliers de descente cette information est vitale malgré l'ajustement du FMS de la vitesse de descente par tranche de 20kt suivant les vents rencontrés.

V-9- CONCLUSION

-Une utilisation correcte du cost index, exige une étude rigoureuse des différents coûts pour chaque route (aller et le retour).

Une révision périodique par le moyen de mise a jours mensuelle, doit être faite pour garantir l'efficacité du cost index, qui doit être arrondi pour satisfaire des routes a coûts proches.

Les paramètres des différents facteurs de performance, doivent être insérés dans le FMC,

afin d'accentuer la précision ; ces paramètres étaient au paravent réservés au personnel de la maintenance .la plus part des compagnies communiquent ses données a leurs équipages de façon périodique pour chaque appareil.

Chapitre VII :
Le Logiciel

Chapitre VI: Le Logiciel

VI-1-Introduction

Le langage choisi pour l'élaboration du logiciel est le Delphi 5, et les raisons de ce choix sont entre autre la facilité de création des interfaces windows, de manipulation et de gestion des bases de données.

Ce logiciel est une application directe de la formule de calcul du cost index, avec l'affichage de tous les paramètres associés pour les différentes lignes .

Les lignes exploitées dans ce travail sont les suivantes:

- ALGER- PARIS -ALGER
- ALGER- LONDRES -ALGER
- ALGER- SHANNON -ALGER
- ALGER- MONTREAL -ALGER
- ALGER- JOHANNESBOURG -ALGER
- ALGER- MOSCOU -ALGER
- ALGER- DUBAI -ALGER
- MOSCOU- PEKIN -MOSCOU

VI-2-Interfaces

Lors de l'exécution du programme ,la première fenêtre qui s'affiche est la fenêtre du mot de passe , assurant la protection du logiciel contre les accès non autorisés (le mot de passe peut être modifié).

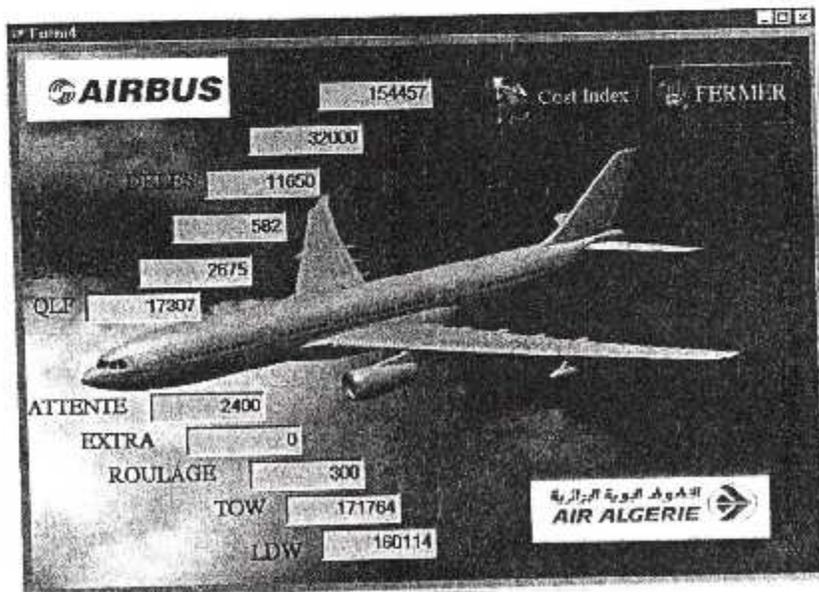


Après l'introduction du mot de passe , la fenêtre principale s'affiche nous permettant de sélectionner la ligne a exploiter .

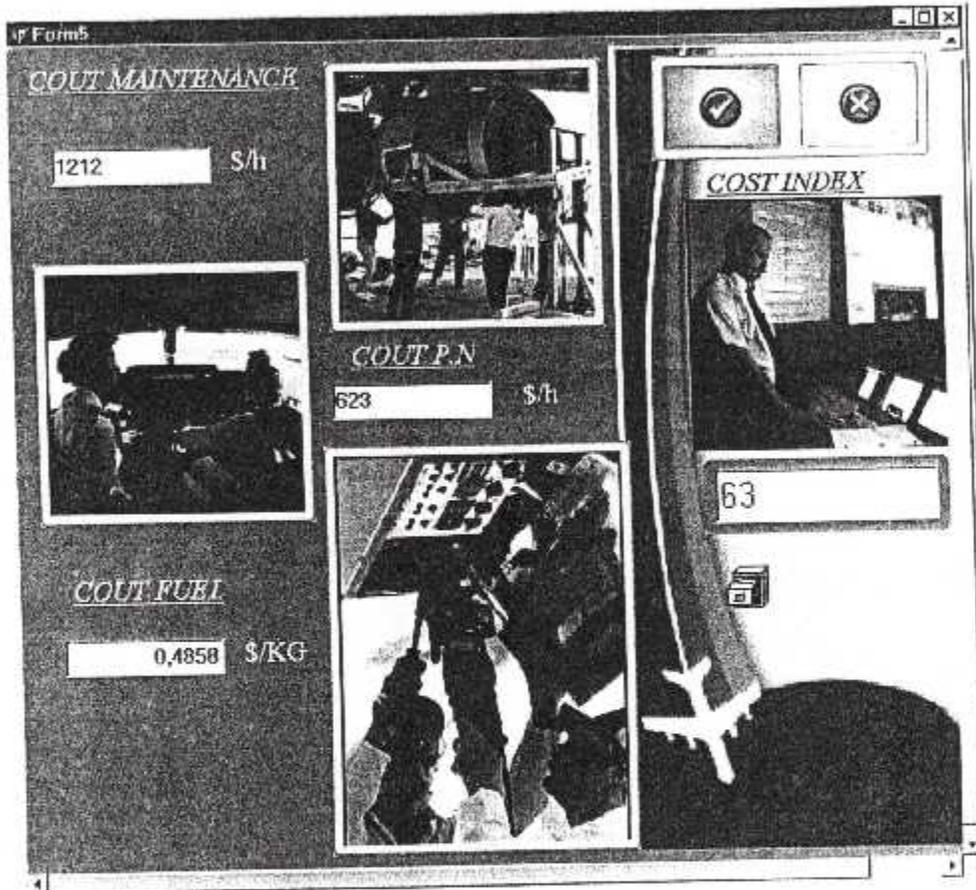
Le choix étant fait ,la carte géographique avec l'itinéraire direct s'affiche et comprend : la distance - le niveau de vol optimum - le temps de vol .



D'un simple click sur le bouton **Détails**, la fenêtre des différentes masses de l'avion s'affiche, on a donc accès entre autre aux données suivantes:
 Charge offerte ,le carburant réglementaire pour effectuer cette étape...etc .



En cliquant sur le bouton **Cost Index**, la fenêtre du calcul du C.I s'affiche, et l'utilisateur peut changer les valeurs des différents coûts horaires (le coût carburant est affiché à partir de la base de données et ne peut être changé).
Après l'introduction des coûts, il suffit de confirmer Pour obtenir la valeur du C.I.



La touche **PARAMETRES** permet de visualiser divers vitesses économiques Pour la montée, la croisière et la descente, ainsi que les distances, temps, et carburant correspondant à chacune de ces phases.

Form5

The screenshot displays a flight simulation window titled 'Form5'. It is divided into several sections:

- Top Left:** A 3D rendering of an Airbus A320 aircraft in flight.
- Top Right:** A panel with five data fields:

VITESSE	320/812
TEMPS	00:21:48
DISTANCE	141
FUEL	4018
TAUX	917
- Center:** A 'MACH ECON' indicator showing a value of 0.825.
- Bottom Left:** A panel with four data fields:

VITESSE	819/307
TEMPS	00:21:54
DISTANCE	125
FUEL	540
- Bottom Right:** A 2D top-down view of the aircraft on a runway.

VI-3-Application

- ✓ Ligne : ALGER- LONDRES
- ✓ Code OACI: DAAG - EGLL
- ✓ Distance: 976 Nm
- ✓ Optimum FL :350
- ✓ Temps de vol : 02:20:00
- ✓ Zero fuel weight :154 457 kg
- ✓ Charge offerte :32 000 kg
- ✓ Délestage :11 650 kg
- ✓ Réserve de route :582 kg
- ✓ Attente :2 400 kg

- ✓ Extra : 0
- ✓ Roulage:300 kg
- ✓ TOW :171 764kg
- ✓ LDW :160 114kg
- ✓ Coût maintenance : 1212 \$/h
- ✓ Coût P.N : 623 \$/h
- ✓ Coût carburant : 0,4858 \$/kg

Cost Index =63

Montée

- ✓ Vitesse : 320/.812
- ✓ Temps : 00:21:48
- ✓ Distance : 141 Nm
- ✓ Fuel : 4018 kg
- ✓ Taux : 917 fpm

Croisière

- ✓ Mach Econ : 0.825

Descente

- ✓ Vitesse : .819/307
- ✓ Temps :00:21:54
- ✓ Distance : 125 Nm
- ✓ Fuel : 540 kg

Conclusion

L'étude de ce projet nous a permis d'approfondir nos connaissances en matière de gestion et organisation des opérations aériennes afin d'assurer une rentabilité et efficacité des vols .

Le Cost Index est un garant incontournable pour une gestion optimale et efficace de tout vol ,car il effectue le lien entre l'avion et les opérations a travers le FMS .
Ce dernier, a besoin du Cost Index comme paramètre primaire pour prendre en main tout le vol ,permettant a l'avion d'évoluer dans les conditions optimales de ses performances .

Le Cost Index assure une économie adaptée au besoin de la compagnie ,d'ou l'importance d'une bonne maîtrise et connaissance des divers coûts et dépenses pour l'étape considérée ,afin d'améliorer la précision et l'efficacité du Cost Index calculé.

Le choix de l'altitude et du cheminement de vol ,ainsi que l'emport de carburant supplémentaire font partie des paramètres essentiels est complémentaires du C.I.

L'exploitation future de l'A330-200 d'Air Algérie dans ligne transatlantique, va démontrer l'importance majeure de ce facteur déterminant, dans l'optimisation des vols en générale, et les longs courriers plus particulièrement .

BIBLIOGRAPHIE

- 1- AIRBUS FUEL ECONOMY MATERIAL –Issue 3 Juillet 2004.
- 2- IATA FUEL ACTION PLAN - Novembre 2004.
- 3- Airline Operations #2 - Avril 2003.
- 4- Airline Operating Costs Dr CHRIS SMITH - Décembre 2004 .
- 5- Airline Managing John Peters - janvier 2003.
- 6- Boeing Fuel saving – novembre 2004.
- 7- Airbus getting to grips with the cost index – Mai 1998.
- 8- Air Algérie A330-200 FCOM (Flight Crew Operating Manual).
- 9- Langage DELPHI 5.