

Quel avenir pour le transport aérien ?

Aurèle de Bosset, GM
Jannick Fenner, GM
Gaëtan Matthey, MT
Olivier Thommen, MT

Projet SHS de 1^{ère} année Master, encadré par Philippe Thalmann,
branche « économie politique », accepté le 16.05.2007

Lausanne, année académique 2006-2007



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Sommaire

1	INTRODUCTION	5
2	SITUATION ACTUELLE DE L'AVION CIVILE	6
2.1	TAILLE DU MARCHÉ	6
2.2	TYPE DE LIAISONS AERIENNES	8
2.3	LE SECTEUR AERIEN FACE AUX CRISES ECONOMIQUES ET PETROLIERES DES TRENTE CINQ DERNIERES ANNEES	9
2.4	PROFITABILITE DU SECTEUR AERIEN ET ANALYSE PAR REGION.....	10
2.5	LE SECTEUR DU FRET AERIEN.....	12
3	INFLUENCE DU PRIX DU KEROSENE SUR LE TRANSPORT AERIEN	14
3.1	ELASTICITE DE LA DEMANDE	16
3.2	MECANISMES DE COUVERTURE DU PRIX DU KEROSENE : FUEL HEDGING.....	19
3.3	MOYEN DE TRANSPORT DE LUXE ?.....	20
4	INNOVATIONS TECHNIQUES	21
4.1	CAS DE L'A380 :.....	21
4.2	CAS DE L'A350 ET DU BOEING 787 DREAMLINER :	21
5	L'AVIATION CIVILE FACE AU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE ET VIS A VIS DU PROTOCOLE DE KYOTO... 25	
5.1	ANALYSE DES CONTRAINTES QUE POSE KYOTO SUR LES REJETS DE CO2	25
5.2	POSITIONNEMENT DE L'AVIATION FACE AU RECHAUFFEMENT GLOBAL.....	25
5.3	ANALYSE D'AUTRES TYPES DES NUISANCES AUTOUR DES AEROPORTS	26
6	MOYENS DE LUTTES CONTRE LES NUISANCES ET STRATEGIES DE TAXATION	27
6.1	1 ^{ERE} STRATEGIE : ALLOCATION DE CERTIFICATS	27
6.2	2 ^E STRATEGIE : TAXES D'AEROPORT EN FONCTION DES EMISSIONS DE L'AVION.....	28
6.3	3 ^E STRATEGIE : UTILISATION DE QUOTAS D'EMISSIONS ECHANGEABLES	30
6.4	4 ^E STRATEGIE : MESURES PALIATIVES	34
7	POSITION DE L'INDUSTRIE DU TRANSPORT AERIEN FACE A DE NOUVELLES TAXES	35
8	CONCLUSION	36
9	ANNEXES	38
9.1	ANNEXE 1 : EXEMPLE DE COMPETITION INTERMODALE.....	38
9.2	ANNEXE 2 : DEMANDE POUR L'AVIATION CIVILE EN FONCTION DU PIB	40
10	ETUDE DE CAS : DEUTSCHE LUFTHANSA AG.....	42
11	REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIE.....	50

1 Introduction

Durant les cinquante dernières années, la mobilité globale a énormément augmenté, que ce soit au niveau des marchandises ou des personnes ; elle est due à des facteurs technologiques, économiques et politiques.

Dans le transport global, l'aviation est devenue incontournable, tant par sa vitesse que par sa flexibilité. L'avion a révolutionné le transport transocéanique, permettant de relier tous les continents dans la même journée. Il a permis de relier des régions extrêmement reculées, qui auraient nécessité d'énormes investissements en infrastructure pour des moyens de transport terrestre. Par ces facteurs, l'aviation a été ainsi victime de son succès ; le trafic aérien a explosé ces dernières décennies, passant d'un moyen de transport marginal réservé à de riches privilégiés à un transport populaire de masse.

L'histoire de l'aviation a été marquée par les progrès techniques, permettant de voler toujours plus loin et de devenir un des moyens de transport le plus sûr au monde. Les grands tournants ont été l'apparition des avions à réaction, puis le transport de masse avec le lancement du Boeing 747 en 1968. Malgré une croissance exponentielle durant ces dernières décennies, le secteur aérien a été ébranlé par le choc pétrolier de 1973 qui a sonné le glas de l'expansion du supersonique Concorde, par les menaces terroristes (détournements palestiniens, faillite de la Pan Am après l'attentat de Lockerbie en 1988, attentats du 11 septembre 2001), puis par la concurrence effrénée sur le marché américain après sa déréglementation durant les années quatre-vingt, puis celle sur le marché européen à la fin des années 1990 avec l'arrivée des compagnies low-cost.

Le début de notre décennie a été marqué par une hausse notable du prix du pétrole, ainsi que par une surcapacité sur le marché aérien, causant la disparition de compagnies prestigieuses après le 11 septembre 2001 (Swissair, Sabena, TWA) et la mise en sursis concordataire de grandes compagnies nord américaines (Delta Airlines, American Airlines, Air Canada). L'aviation a su faire face à tous ces défis par une rationalisation de son organisation, permettant la baisse des coûts pour faire face à la concurrence et à la hausse du prix du carburant. Depuis la reprise économique récente, la situation s'est améliorée pour l'ensemble du secteur aérien, qui n'avait plus fait de bénéfice depuis l'an 2000.

Après toutes ces constatations, on peut souligner le caractère cyclique de l'aviation civile, cependant toujours largement orientée à la hausse (plusieurs pourcents de croissance chaque année depuis 50 ans).

Notre projet de recherche s'inscrit dans la problématique de l'aviation civile face aux défis du réchauffement climatique et du renchérissement de l'énergie. Nous présenterons les perspectives prometteuses du secteur aérien, malgré les contraintes liées à la hausse du prix du carburant et de futures taxes sur les émissions de CO₂.

Après avoir décrit le marché actuel de l'avion civil mondial, nous nous pencherons sur l'influence du prix du kérosène et sur l'élasticité de la demande, en fonction des moyens de substitution. Nous évaluerons l'impact des progrès techniques sur le secteur. Ensuite, la position de l'aviation civile face au réchauffement climatique et au protocole de Kyoto sera développée, de même que les moyens de lutte contre les nuisances engendrées par cette industrie, ainsi que les possibles mesures de taxation. Notre conclusion consistera à une mise en perspective de ce secteur face à l'ensemble des moyens de transport.

Le rapport sera appuyé par deux annexes, ainsi qu'une étude de cas, basée sur la politique de développement durable de la société Deutsche Lufthansa AG.

2 Situation actuelle de l'avion civile

2.1 Taille du marché

Le transport aérien est devenu ces trente dernières années un acteur économique majeur des pays industrialisés. Il a, d'une part, soutenu la mondialisation de l'économie, permettant la création de groupes internationaux, où les cadres supérieurs se déplacent dans leurs différentes filiales. D'autre part, il a contribué au boom du tourisme exotique, permettant aux Occidentaux de voyager sur toute la planète. Les voyages d'agrément représentent aujourd'hui 76% des déplacements aériens. Le secteur aérien emploie plus de 28 millions de personnes dans le monde (chiffre an 2000).

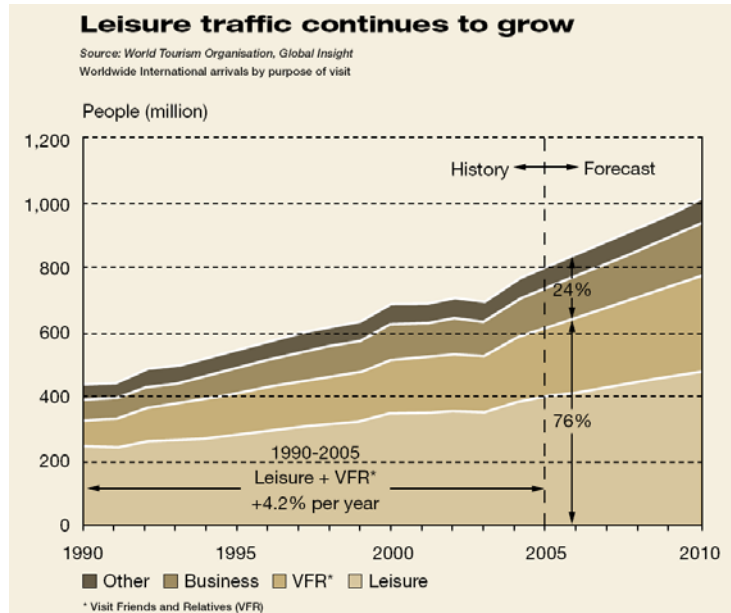


Figure 1 – Evolution du trafic aérien mondial en nombre de passagers [1]

Asia to lead in world traffic by 2025

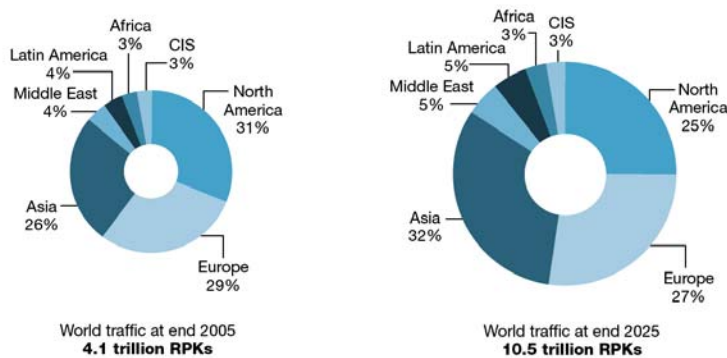


Figure 2 - Trafic en trillions de Revenu Passager Kilomètres en 2025 [1]

Depuis l'an 2000, le trafic aérien mondial a augmenté de 30%, marquant la plus forte croissance de son histoire. La croissance estimée par Airbus pour 2006-2025 est de 4.8% par année, principalement soutenue par la croissance exponentielle des marchés chinois et indien.

Les progrès techniques constants de l'aviation civile par le développement d'avion à haute capacité, demandant un entretien réduit et une consommation raisonnable ont rendu accessible ce moyen de transport à plusieurs centaines de millions de personnes (en 1995, marché mondial de 500 millions de clients potentiels, en 2005 de 800 millions et en 2015, 1600 millions estimés).

La flotte aérienne mondiale des avions de plus de cent passagers est constituée actuellement de 12'676 unités (chiffre Airbus) ; cette flotte doublera probablement d'ici 2025 pour passer à 27'000 unités. Ces chiffres peuvent paraître surprenants, en particulier face à la très probable hausse du prix du kérosène et du resserrement des normes environnementales. Cependant ces chiffres avancés par Airbus, bien que potentiellement surévalués, sont cohérents en tenant compte de l'énorme retard du transport aérien dans les pays représentant les $\frac{3}{4}$ de la population mondiale.

Ces pays en voie de développement n'ont pas ratifié le protocole de Kyoto et réclament le « droit au développement ». La demande de ces marchés, cumulée aux marchés matures de l'Occident, où la forte concurrence et pression sur les prix permettra de maintenir voir d'augmenter les capacités, expliquent le doublement du trafic dans moins de 20 ans.

Sans nous étendre sur ce sujet, il est certain que le marché aérien des prochaines années sera très profitable pour les grands fabricants comme Airbus ou Boeing. En plus de l'augmentation de la flotte mondiale, ces sociétés profiteront du renouvellement des avions dépassés, qui s'accélère, vu la rentabilité pour les compagnies aériennes de passer à des avions plus économes en carburant. (marché global de 22'600 appareils d'une valeur de plus 2600 milliards \$ pour les 20 prochaines années).

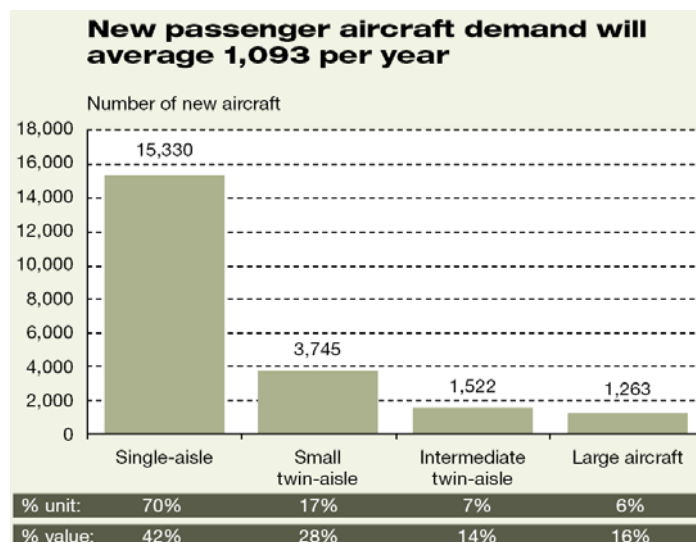


Figure 3 – Demande mondiale en nouveaux appareils pour les 20 prochaines années [1]

2.2 Type de liaisons aériennes

Au niveau de la structure du trafic aérien mondial, deux philosophies s'affrontent : Boeing parie sur le développement des liaisons directes avec des avions de 100-200 passagers, permettant de faire gagner du temps aux passagers, de faciliter le traitement des bagages et d'éviter les hubs encombrés, où les taxes d'aéroports sont élevées. Cette théorie affronte celle d'Airbus qui considère que, effectivement, les liaisons directes de moyens porteurs vont prospérer, sans enlever l'attrait croissant des hubs. Les hubs ont l'avantage de concentrer les voyageurs, ce qui permet des gains d'échelle pour des longs courriers, permettant de transporter les passagers en gros porteurs. Le développement du A380 est axé sur cette stratégie, et prend aussi en compte l'engorgement des aéroports des mégapoles de la planète.

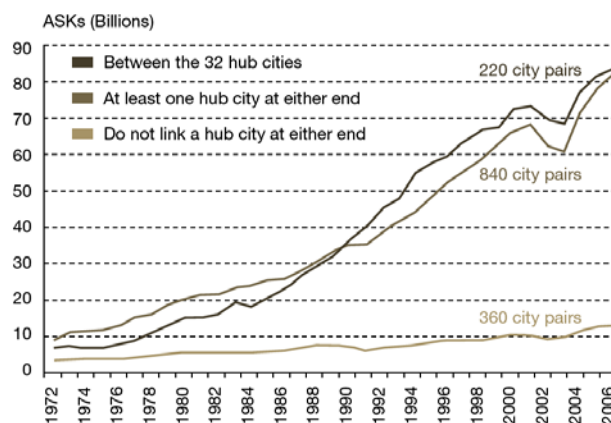
D'ailleurs à la lumière des trente dernières années, le succès des hubs ne s'est pas démenti. (on peut cependant se demander si ce « succès » n'a pas été imposé aux passagers).

Les 32 hubs de la planète représentent 25% du trafic aérien mondial. Leur croissance a été beaucoup plus rapide que les autres aéroports. Leur attrait est lié à l'influence de la mégapole à laquelle le hub est rattaché.

Historiquement l'établissement des compagnies nationales centrées sur un grand aéroport a profité au développement des hubs (Heathrow doit en grande partie son succès à British Airways, Frankfurt à Lufthansa).

Trunk and thinner routes from 32 hub cities grow in parallel

Intercontinental city pairs over 2,000 nm



Hub cities were, are and will remain dominant

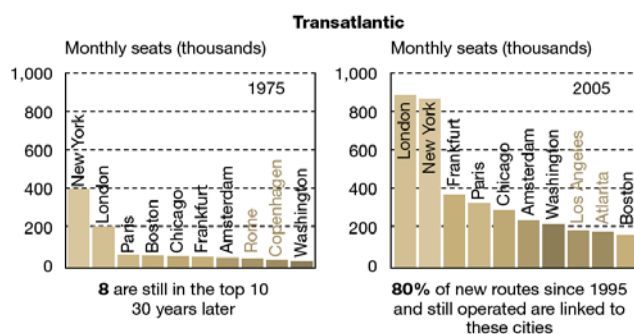


Figure 4 – Comparaison entre les liaisons principales (hubs) et les liaisons secondaires, description des principaux hubs [1]

2.3 Le secteur aérien face aux crises économiques et pétrolières des trente cinq dernières années

Dans l'introduction nous avons dit : *Malgré une croissance exponentielle durant ces dernières décennies, le secteur aérien a été ébranlé par le choc pétrolier de 1973 qui a sonné le glas de l'expansion du supersonique Concorde, par les menaces terroristes (détournements palestiniens, faillite de la Pan Am après l'attentat de Lockerbie en 1988, attentats du 11 septembre 2001), puis par la concurrence effrénée sur le marché américain après sa déréglementation durant les années quatre-vingt, puis celle sur le marché européen à la fin des années 1990 avec l'arrivée des compagnies low-cost.*

Le début de notre décennie a été marquée par une hausse notable du prix du pétrole, ainsi que par une surcapacité sur le marché aérien, causant la disparition de compagnies prestigieuses après le 11 septembre 2001 (Swissair, Sabena, TWA) et la mise en sursis concordataire de grandes compagnies américaines (Delta Airlines, American Airlines, Air Canada). L'aviation a su faire face à tous ces défis par une rationalisation de son organisation, permettant la baisse des coûts pour faire face à la concurrence et à la hausse du prix du carburant. Depuis la reprise économique récente, la situation s'est améliorée pour l'ensemble du secteur aérien, qui n'avait plus fait de bénéfice depuis l'an 2000. En effet le secteur aérien a toujours su se réinventer, en particulier depuis la libéralisation des marchés européens et américains. L'arrivée des low-cost souffle un vent de renouveau et oblige les compagnies traditionnelles à rationaliser leur gestion.

Après toutes ces constatations, on peut souligner le caractère cyclique de l'aviation civile, cependant toujours largement orientée à la hausse (plusieurs pourcents de croissance chaque année depuis 50 ans).

Ces deux paragraphes résument les différents défis qu'a dû relever l'aviation civile jusqu'à ce jour. On peut tirer une leçon de ces événements : les facteurs extérieurs ont certainement une grande influence sur le secteur aérien, et peuvent parfois causer la disparition de certains acteurs de ce marché, mais ils n'ont jamais réussi à freiner durablement la croissance de ce secteur.

La Figure 5 ci-droit confirme cette hypothèse. Cependant ces facteurs servent souvent d'accélérateur au changement; des conditions défavorables sur un long terme (contrairement aux crises passées qui étaient limitées dans le temps), comme une hausse constante du cours du pétrole, pourraient modifier grandement le visage de ce marché.

Nous évaluerons deux aspects en profondeur dans les points suivants : la rentabilité actuelle du secteur et les gains de productivité réalisés durant notre dernière décennie, pour faire face à la concurrence et à la hausse du kérosène.

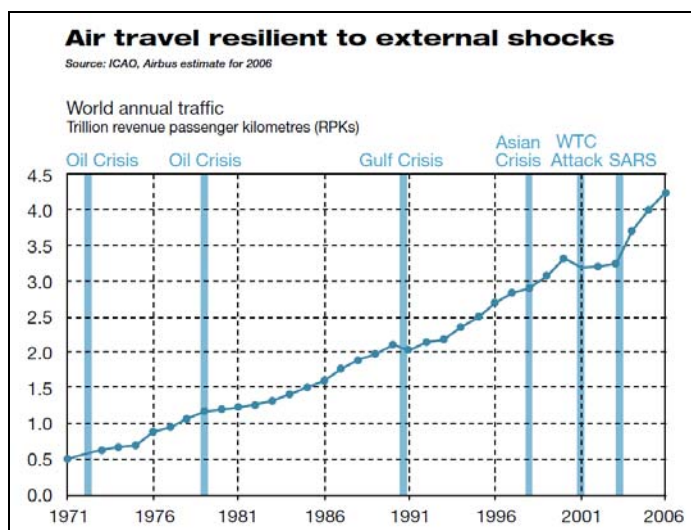


Figure 5 – Evolution de la croissance du trafic aérien face aux crises [1]

2.4 Profitabilité du secteur aérien et analyse par région

Après l'annus horribilis 2001, où les pertes cumulées du secteur aérien ont été de plus de 13 milliards de \$, causant la faillite de grandes compagnies, et les années moroses qui ont suivi, le secteur aérien renoue timidement avec les bénéfices depuis 2007 (voir Figure 6). Cependant ces chiffres cachent de grandes disparités, que ce soit par région ou par type de compagnie. Le marché américain représente la majorité des pertes du secteur, alors que les marchés européens et asiatiques ont renoué depuis plusieurs années avec le profit.

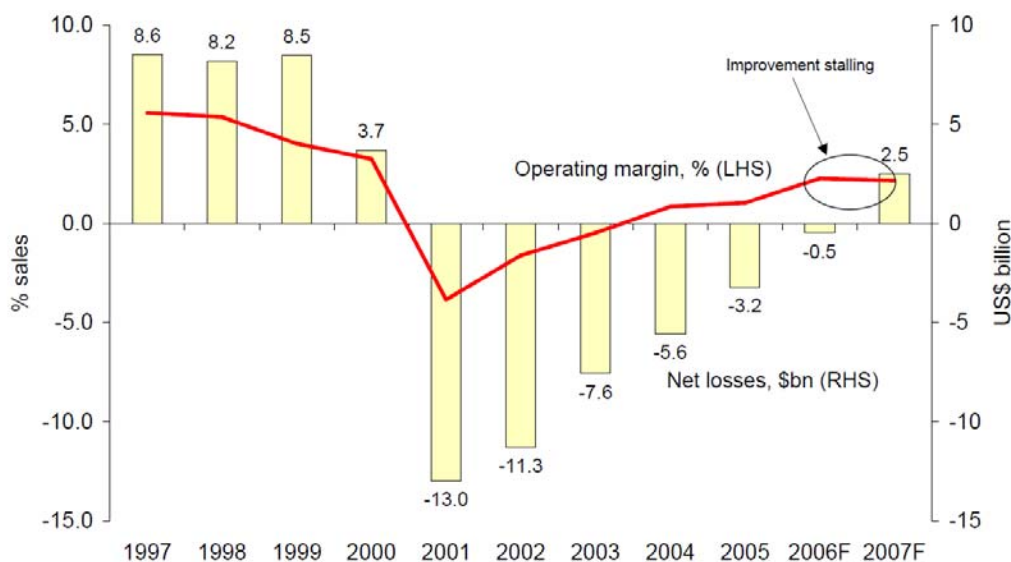


Figure 6 – Profit/pertes du secteur aérien mondial en % du chiffre d'affaires [2]

De plus, de grandes disparités subsistent entre les profits des différentes compagnies. Les compagnies asiatiques tirent leur épingle du jeu avec la croissance rapide de leurs marchés ; en Europe, les compagnies low-cost sont très profitables par leur efficacité économique, de même que les grandes compagnies nationales qui profitent (encore) de certains monopoles (p.e. liaisons très profitables pour Air France / British Airways avec leurs anciennes colonies).

La situation est beaucoup plus sombre outre-atlantique avec la majorité des grandes compagnies sous la loi de la protection des faillites ; seules quelques compagnies low-cost comme Southwest ou Jetblue sont bénéficiaires sur ce marché, car elles sont bien gérées et n'ont pas octroyé les mêmes avantages sociaux que les « majors ».

Le retournement positif du marché est sans conteste dû à la situation économique positive, mais ne doit pas masquer le gigantesque effort de rationalisation réalisé par le secteur aérien depuis le début de la décennie.

Le graphique suivant (Figure 7) mérite notre curiosité en faisant ressortir les compagnies profitables, les résultats y sont parfois surprenants:

APPENDIX: OPERATING PROFITS BY AIRLINE

Table 1: Top 25 Airlines by Operating Profitability, Fiscal Year 2005 (* = Fiscal Year 2004)

By Total Operating Profit			By Operating Profit Margin		
Rank	Airline	US\$ m	Rank	Airline	%
1	FedEx *	1,414	1	Gol Airlines	23.3
2	British Airways	1,330	2	Ryanair	21.8
3	Air France-KLM	1,200	3	Air Asia	18.9
4	Lufthansa	877	4	COPA	17.3
5	Southwest	820	5	Kenya Airlines	15.6
6	Emirates	786	6	Philippine Airlines	13.7
7	All Nippon	776	7	DHL International *	12.5
8	Qantas *	775	8	Kalitta Air	12.3
9	Singapore Airlines	590	9	Emirates	11.9
10	Cathay Pacific	533	10	Mesa Airlines	11.7
11	Ryanair	459	11	American Eagle	11.3
12	Air China	458	12	SkyWest	11.2
13	Iberia	457	13	Southwest	10.8
14	Air Canada	388	14	Jet Airways *	10.3
15	UPS Airlines	293	15	Air China	9.6
16	Thai Airlines	269	16	Virgin Blue	9.6
17	Gol Airlines	266	17	TAM	9.5
18	TAM	232	18	Singapore Airlines	9.1
19	American Eagle	225	19	Royal Jordanian	9.0
20	SkyWest	220	20	Qantas *	8.9
21	Korean Airlines	207	21	Atlantic Southeast	8.5
22	Virgin Blue	184	22	British Airways	8.3
23	China Eastern *	179	23	Aer Lingus	8.2
24	LAN Airlines	142	24	Cathay Pacific	8.1
25	Asiana*	136	25	FedEx*	7.2

Source: Airclaims Financial Database, IATA

Figure 7 – Bénéfice et marge opérationnelle en 2005 des compagnies aériennes les plus rentables [3]

A côté de quelques acteurs réputés comme British Airways ou Air France – KLM, les compagnies asiatiques et low-cost ressortent très nettement. Le secteur du fret aérien avec FedEx, DHL, UPS est aussi très rentable.

Pour augmenter sa profitabilité et lutter contre les compagnies low-cost, le secteur aérien traditionnel en Europe ou Etats-Unis a entrepris de grands efforts de rationalisation : de 2003 à 2005, le nombre de passagers a augmenté de 15 à 20%, sans changer la capacité du secteur, presque uniquement par une meilleure gestion des sièges et des avions (voir Figure 8, Figure 9).

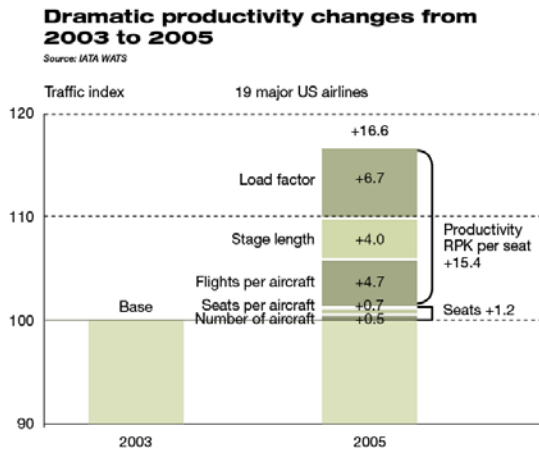


Figure 8 – Gain de productivité sur le marché américain de 2003 à 2005 [1]

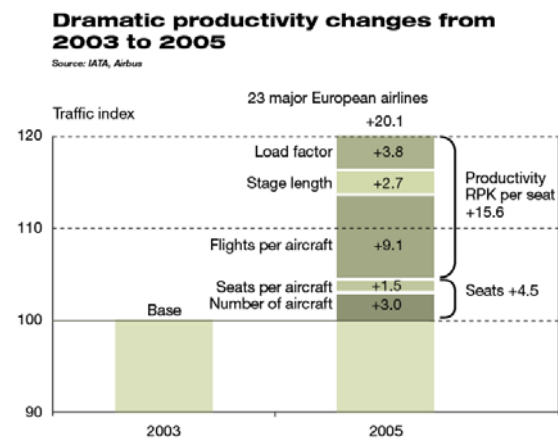


Figure 9 - Gain de productivité sur le marché européen de 2003 à 2005 [1]

2.5 Le secteur du fret aérien

Le transport aérien de marchandises a connu une très forte croissance depuis plus de deux décennies, et est devenu un acteur incontournable du secteur aérien. On doit donc impérativement en tenir compte, que ce soit au niveau de la croissance globale du trafic ou au niveau des émissions de CO2 en particulier. D'après les estimations de la société Airbus, la taille mondiale de ce secteur devrait tripler d'ici à 2025, passant de 150 milliards de FTK (Freight-Ton Kilometers) à 450 milliards de FTK

La forte croissance du développement du fret aérien est intimement liée au développement de l'industrie d'exportation de la Chine, « usine du monde ».

Les quantités (en tonnes) transportées depuis la Chine ont doublé entre 1995 et 2005, et la valeur des marchandises transportées durant cette période a quasiment triplé, tirée par le boom du transport des produits high-tech (en 10 ans, le nombre d'ordinateurs personnels produits en Chine est passé de 400'000 unités par année à 45 millions).

Share of 2025 freight traffic

Share of 2025 FTKs
(FTKs growth: average per annum 2006-2025)

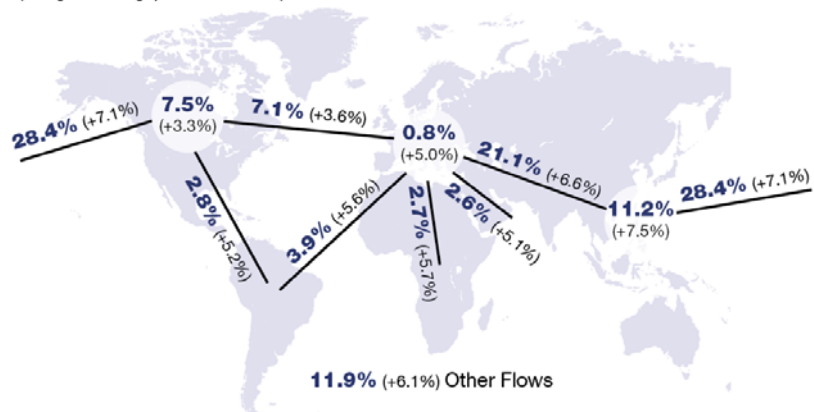


Figure 10 – Estimation de la répartition du fret mondial en 2025

En 2025, le fret aérien lié à la Chine devrait représenter plus de 50% du trafic (en FTK), principalement sur les liaisons intercontinentales vers l'Amérique du Nord ou l'Europe.

A l'instar du transport de passager, l'accroissement du prix du kérosène et les nouvelles contraintes environnementales à venir ne devraient pas empêcher l'essor de ce secteur, si ce n'est l'obliger à des rationalisations nécessaires.

La plupart des avions utilisés aujourd'hui pour le transport de marchandises sont d'anciens avions de transport de passagers reconvertis, ce qui induit un surplus d'émissions de CO₂, causé par ces appareils obsolètes.

Au vu des prévisions d'Airbus, cette tendance devrait se maintenir dans les 20 prochaines années, cette industrie assurant toujours un débouché lucratif pour les avions en fin de vie.

Cependant, des changements de législation et l'introduction de taxes très progressives pourraient mettre fin à ces pratiques.

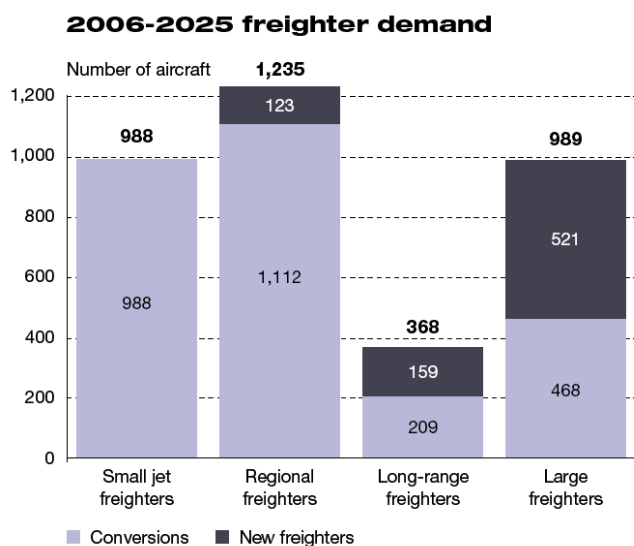


Figure 11 – Appareils supplémentaires affectés jusqu'en 2025 pour répondre à la croissance du fret aérien [1]

Les perspectives pour le trafic international restent beaucoup plus favorables à long terme que le trafic régional, directement concurrencé par les possibilités de substitution comme les poids lourds ou les trains. Le fret international répond au besoin d'une économie de plus en plus globalisée, où les biens industriels sont fabriqués en flux tendu, dans un lieu de production centralisé, souvent éloigné des principaux marchés.

En terme de rentabilité, le secteur du fret aérien est florissant. Il ne souffre pas de surcapacité et de concurrence soutenue comme le transport de passagers. Les trois grands groupes de fret occidentaux (UPS, Fedex, DHL) profitent d'un monopole sur certains marchés.

Dans ce sens, les importants bénéfices réalisés par ces compagnies ne sont pas dus à des gains de productivité, mais plutôt à cause de leur position dominante et de la très forte croissance de la demande, liées à la haute conjoncture économique mondiale.

3 Influence du prix du kérosène sur le transport aérien

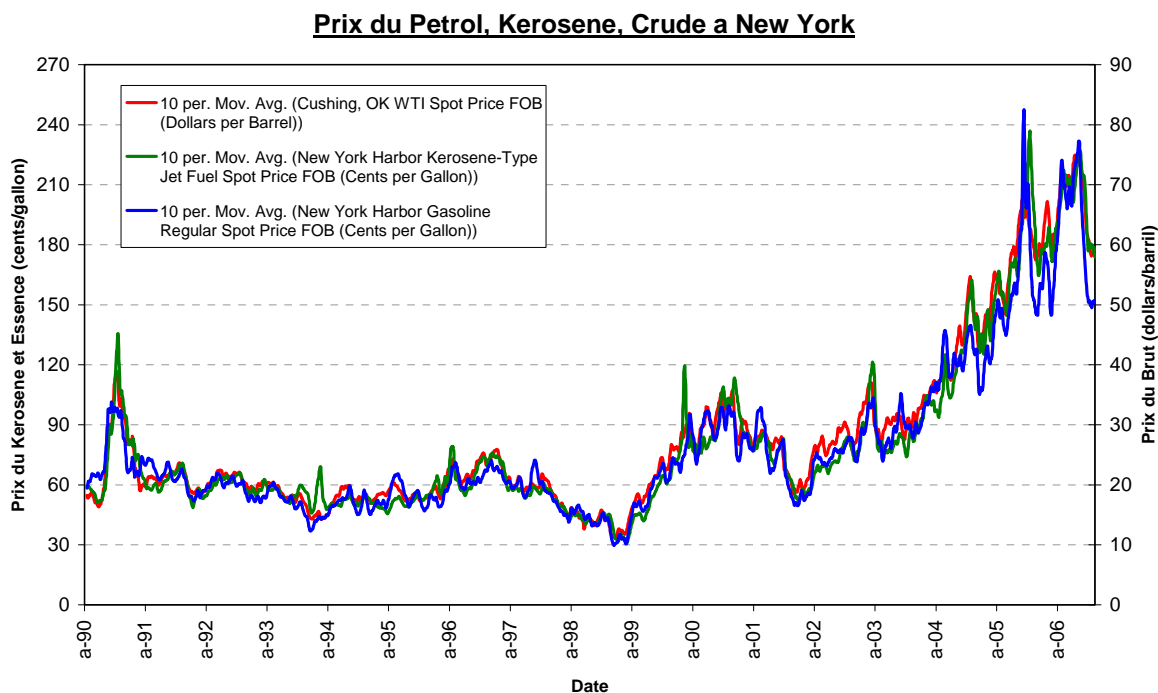


Figure 12 – Cours du pétrole (crude), kérosène et essence depuis 1990 [4]

Le lien entre le prix du pétrole et le prix du kérosène est très intime, car le kérosène est un produit raffiné du pétrole brut. Le prix des deux produits se suit presque exactement comme l'on peut voir dans le graphique ci-dessus. Ci-droite (Figure 13), le prix du kérosène en fonction de celui du pétrole brut avec une corrélation de 0.98. Nous pouvons donc parler de facteurs qui influencent le prix du brut, de la hausse du prix du brut et des réserves de brut sans devoir distinguer celui du kérosène.

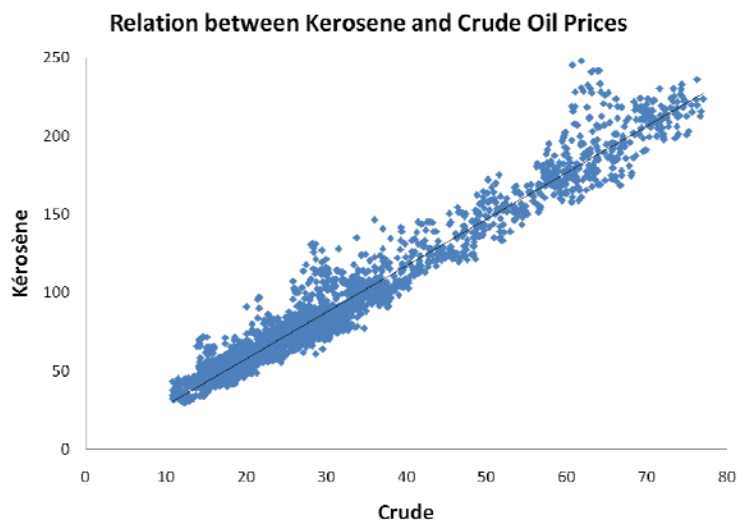
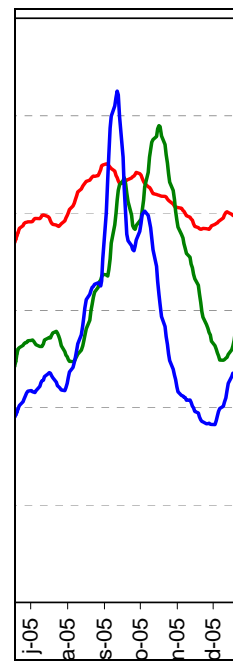


Figure 13 - prix du kérosène en fonction du pétrole [4]

Aux Etats-Unis, le prix du kérosène a beaucoup divergé par rapport au prix du brut, en particulier après l'ouragan Katrina du 29 Août 2005. Le prix du kérosène a fortement augmenté suite à la destruction et à la mise hors service d'installations de raffinage sur la côte et d'extraction dans le Golfe du Mexique. L'ouragan a mis hors service environ 13% de la capacité de raffinage du kérosène [5]. Ceci est très visible sur le graphe à droite, ainsi que l'augmentation du cours de l'essence, qui est aussi un produit dérivé. La situation s'est aggravée le 24 Septembre 2005, après le passage de l'ouragan Rita qui a amené le total de production hors service à 25%. On voit un quasi doublement des prix sur une période de seulement quelques mois. Cette situation a mis sous pression les grandes compagnies aériennes américaines. Ces compagnies sont vulnérables aux variations brutales des cours car elles n'ont plus nécessairement les moyens de se couvrir à court terme. En effet, leur mauvais état financier limite les possibilités de *hedging*. Le rajout d'un *fuel surcharge* sur le prix du billet permet d'assurer une réponse rapide à la hausse des cours du brut. Ce petit surcoût, supposé n'être que temporaire, permet aux compagnies aériennes de couvrir, au moins en partie, ces grandes hausses de prix.



Extrait de la Figure 12

Souvent ces taxes sont maintenues un peu plus longtemps que prévu, même si les prix diminuent. Il y a ainsi un manque de transparence entre le prix du kérosène et le *fuel surcharge*. Certains estiment que le prix du billet devrait simplement prendre en compte le prix élevé du pétrole. Pour un consommateur, les diverses taxes et le *fuel surcharge* peuvent prêter à confusion. Ainsi, le prix total d'un billet est difficile à établir à première vue. Notons qu'aux Etats-Unis et dans certains pays européens, la loi stipule que les prix publiés doivent inclure tous les frais annexes.

De 0.60 dollars le litre durant les années 90, le prix du kérosène a dépassé récemment les 2.10 dollars le litre, soit une augmentation de 250%. Le coût que représente le kérosène est énorme, et il nous faut quelques chiffres pour s'en rendre compte. En 2006, les coûts de kérosène dépassaient les coûts de personnel pour certaines compagnies aériennes et représentaient 20-30% des coûts totaux. Aux Etats-Unis, chaque centime d'augmentation (par gallon) du prix du kérosène coûte environ 200 millions de dollars (annuel) aux compagnies aériennes américaines. Les compagnies aériennes ont dû faire face à cette augmentation et ils n'ont eu que deux choix : répercuter la différence sur le consommateur ou internaliser la différence. La plupart des compagnies aériennes, en particulier les grandes compagnies nationales, ont opté pour le *fuel surcharge* [6], tout en réduisant leurs coûts internes par des programmes de rationalisation (meilleure utilisation des appareils, baisse des conditions sociales et salariales des employés...).

En contre exemple, *Easyjet* a ressenti entre 2004 et 2005 une augmentation de 50% du prix du kérosène par siège [7]. Par la réduction des coûts, plus de la moitié de cette hausse a pu être absorbée par la compagnie et au final, le prix par siège n'a augmenté que de 3%. La part du prix du siège que représente le kérosène est passé de 17% à 26%. Notons que *Easyjet* assure jusqu'à 80% de son kérosène contre les fluctuations du cours, mais seulement à un terme de 12 mois. *Easyjet* a pu ainsi maîtriser l'augmentation du prix sur cette courte période en faisant des économies. Il y a bien évidemment une limite, et si la hausse du cours est durable, *Easyjet* sera obligée de répercuter les coûts sur le consommateur.

L'utilisation du *fuel surcharge* à la place d'un billet « all included » est une nécessité marketing, il permet de prouver au consommateur que la prestation est facturée à un coût fixe, hormis une partie flottante liée au cours du kérosène. Cette manœuvre est censée rassurer les consommateurs, qui sont très sensibles aux variations de prix des billets. Il s'agit dès lors d'estimer l'attitude des passagers face à ses variations, en mesurant l'élasticité de la demande.

3.1 Elasticité de la demande

L'élasticité dépend de plusieurs facteurs, le plus important étant la possibilité de substitution (compétition intermodale). Le motif du trajet influence aussi fortement l'élasticité : la demande pour des déplacements professionnels est beaucoup moins élastique que celle pour les déplacements de loisir. Notons qu'à long terme, l'élasticité peut changer puisque les individus et les entreprises adaptent leur comportement par rapport à une hausse durable des prix.

Par rapport aux autres critères, comme la rapidité du transport, la fiabilité ou la disponibilité, le prix est le facteur décisif pour le consommateur; il est déterminant dans l'évaluation de l'élasticité de la demande. Le graphique suivant (Figure 14) confirme ces propos.



Figure 14 – Critères pour le choix d'une compagnie aérienne [1]

Concrètement, plus l'élasticité de la demande est élevée, plus une politique de taxation du kérosène sera efficace. Le rapport « Air Travel Demand Elasticities... » [8] de 2002 du Ministre des Finances du Canada donne une bonne base de départ puisque il rassemble 254 indicateurs d'élasticité de 21 rapports. Puisque la détermination de l'élasticité de la demande pour l'aviation est une tâche difficile, il est judicieux d'utiliser plusieurs méthodologies pour en tirer des conclusions plus convaincantes.

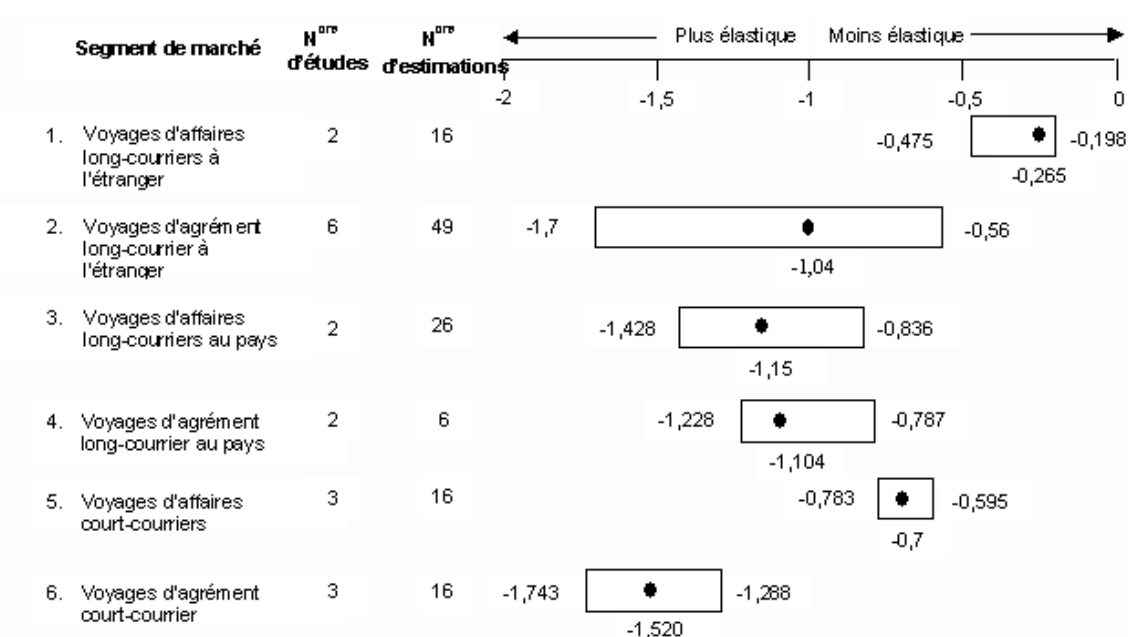


Figure 15 - Elasticité de la demande et la médiane [8]

Note : Puisque cette étude est Canadienne, « au pays » se réfère au Canada. Un vol long-courrier au pays est par exemple Toronto à Vancouver. Puisque notre étude s'applique plutôt à l'Europe, nous excluons les cas long-courrier « au pays ».

Nous résumons l'élasticité médiane dans un tableau :

	Voyages d'affaires	Voyages d'agrément
Long-courrier	-0.27	-1.04
Court-courrier	-0.70	-1.52

Les tendances sont bien visibles et confirment notre intuition. Les vols long-courriers où les possibilités de substitution sont limitées ont une demande plutôt inélastique. Les vols court-courriers où il y a des possibilités de substitution (ex: voiture, bus, train) ont une demande plutôt élastique. Clairement, les voyages d'affaires, souvent payés par l'entreprise et où le temps de transit est un facteur de choix important, ont une élasticité faible. Les voyages d'agrément où les possibilités de substitution sont présentes sont élastiques. La médiane des valeurs d'élasticité de la demande donnée par l'étude, tous rapports confondus, est de -1.12.

Un dernier chiffre intéressant sortant du rapport est l'élasticité vis-à-vis du revenu : il est de 1.14. Si ce chiffre est unitaire, une augmentation de revenu crée une augmentation similaire de la demande pour les voyages en avion. Mais dans ce cas, des changements de revenus créent des « plus » grands changements de la demande pour le transport aérien.

Un cas intéressant peut se présenter. Si le prix du pétrole augmente à cause d'une économie croissante (hypothèse de revenus croissants), le prix des billets d'avion devrait augmenter. Mais simultanément la demande augmentera aussi. Ceci a pu être observé entre septembre 2003 et mars 2004 par exemple [9]. Les effets sont difficiles à chiffrer, mais le lien est important. Par contre, la situation est très différente si l'augmentation est due à la situation géopolitique, les problèmes d'offre, ou l'épuisement des ressources pétrolières. L'augmentation se traduira par une diminution de la demande puisque nous avons constaté que la demande est en moyenne élastique.

3.1.1 Substituts intermodals

En Europe, les trains sont relativement rapides, électriques (moins sensibles aux variations du prix du pétrole), performants, et le réseau à grande vitesse est en expansion. De plus, les distances moyennes entre grandes villes sont relativement courtes. On voit donc qu'il existe un réel substitut à l'avion pour des vols intereuropéens – reste à le développer. Un transfert vers le rail serait envisageable pour un consommateur face à une augmentation du prix du billet d'avion. Par contre, une personne à New York choisirait difficilement le bateau pour se rendre à Paris, et donc serait moins sensible à une augmentation du prix du billet.

La variation du prix du pétrole a aussi un effet sur l'attractivité des substituts. Si le prix du carburant augmente, le mode le plus efficace en termes de consommation aura la hausse la plus modérée. Il sera ainsi plus attractif vis-à-vis des utilisateurs.

3.1.2 Substitution intramodale

Dans les cas des vols long courriers, les possibilités de substitution intramodale sont très limitées, et une augmentation dans le prix du kérosène ne s'avère pas être efficace. Avec une demande moins élastique, l'efficacité d'une taxe est accrue. Mais son acceptation politique est plus difficile aussi. Les voyageurs n'ont pas le choix de se déplacer autrement, et la mobilité serait restreinte plutôt que le choix de mode. Une autre chose à considérer à long terme est la libéralisation des marchés aériens transatlantiques. Ceci aurait une influence sur le niveau et l'élasticité de la demande, une concurrence accrue engendrant une baisse du prix du billet. Pour l'instant, des réglementations limitent la compétition sur les vols transatlantiques, les compagnies nationales ne pouvant relier l'Amérique du Nord que depuis leur pays d'attache, et les compagnies low-cost étant encore exclues de ce marché. Cependant, l'accord « *open-skies* » récemment négocié entre les Etats-Unis et l'Union Européenne, va conduire à une libéralisation partielle des liaisons transatlantiques.

3.2 Mécanismes de couverture du prix du kérosène : Fuel Hedging

La très forte volatilité des cours du brut est une menace supplémentaire pour les compagnies aériennes, déjà très préoccupées par la hausse à terme des prix du kérosène. La volatilité des prix cause des problèmes de liquidités aux compagnies, qui ne disposent pas beaucoup de cash-flow, après des années de crises.

Face à cette menace, de nombreuses compagnies achètent le pétrole à terme (*oil futures*), en se couvrant face aux fluctuations à court-terme (*Fuel Hedging*).

Certaines compagnies aériennes ont des difficultés de faire du *Hedging* à cause de leur situation financière. Pour d'autres, le *Hedging* ne fait pas partie de la stratégie d'entreprise. Comme nous pouvons le voir sur la Figure 16, la plupart des compagnies aériennes américaines ne s'engagent pas dans le *hedging*. Southwest est une exception : avec 85% de *fuel hedging* elle assure un prix fixe pour une grande partie de ces futurs besoins en kérosène. Pour l'instant cette stratégie a porté ces fruits.

Cette stratégie de *hedging* a débuté en 1990 et les premiers contrats importants existent depuis 1998. En 2006, Southwest a réalisé des économies de l'ordre de 700 millions de dollars [11]. Avec les prix élevés du brut et un marché très compétitif, les avantages de cette stratégie sont clairs. Mais cette stratégie a ses limites, car les prix des *futures* augmentent aussi avec le temps – spécialement quand la baisse des cours de brut n'est pas envisageable.

Southwest a bien pu maîtriser ces coûts de kérosène, mais c'est bien évidemment exposé à des risques. Indépendamment de ces faits, la Figure 17 ci-dessous montre très clairement que même si Southwest maintient une stratégie agressive de *Hedging*, elle subira aussi les effets d'une hausse des cours du pétrole à long terme.

Pourcentage des futurs assurés par des contrats à long terme.

Année	Contrat pour
2007	95%
2008	65%
2009	50%
2010	25%
2011	15%
2012	15%

Ces données proviennent du département de l'Énergie des USA et des rapports annuels de Southwest Airlines.

Table 2. Summary of Current Hedging Practices at Leading US Airlines *

American	15% hedged in Q1
United Airlines	11% hedged for 2005
Delta	Not hedged
Northwest Airlines	About 25% for Q1; 6% for 2005
Continental	Not hedged
Southwest	85% hedged
US Airways	No fuel hedged as of Dec. 31 2004
America West	45% hedged for 2005; 2% for 2006
Alaska Air	50% hedged for 2005
JetBlue Airways	22% hedged for 2005

* (Ranked by size in terms of passenger traffic)
Source: Reuters, Wall Street Journal, March 2005

Figure 16 - L'utilisation du fuel hedging [10]

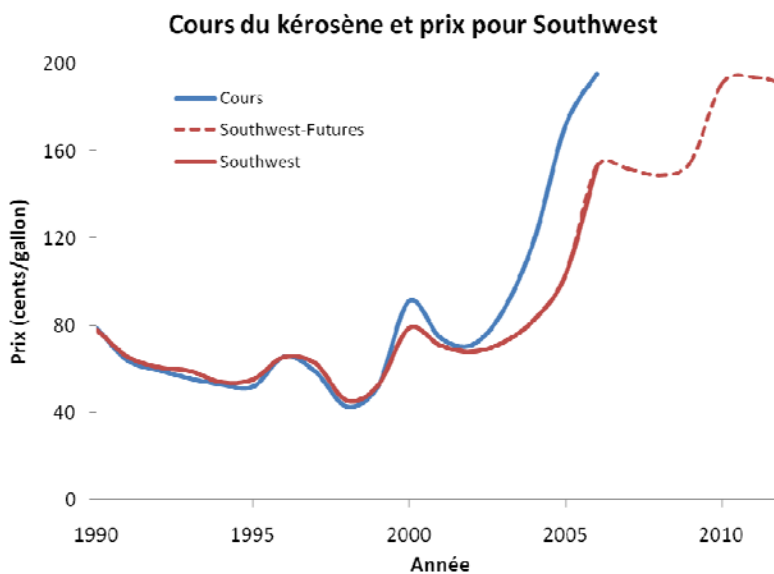


Figure 17 – Southwest tire profit du « fuel hedging »

3.3 *Moyen de transport de luxe ?*

Pour répondre à cette question, il faut définir la notion de transport de luxe. Si on considère qu'un transport de luxe n'est accessible qu'aux personnes aisées à forte capacité financière, alors nous ne pouvons pas considérer l'aviation civile comme un transport de luxe. Cependant, il est clair que ce moyen de transport n'est pas accessible pour les classes défavorisées, en particulier pour les vols long-courriers, onéreux.

On peut aujourd'hui clairement affirmer que l'avion est devenu un transport de masse, depuis l'avènement des gros porteurs et le développement des compagnies low-cost. Actuellement un vol interne aux Etats-Unis ou en Europe est moins coûteux que le même déplacement en train ou en voiture. Il s'avère d'ailleurs intéressant de comparer l'accessibilité de ce moyen de transport pour la classe moyenne par rapport au PIB du pays concerné. Le lecteur se référera à l'annexe 2 pour de plus amples informations.

Selon [12], si l'élasticité vis-à-vis du revenu est plus grand que 1.0, on considère que c'est un bien de luxe. Cette élasticité étant d'environ 1.14, on pourrait croire que c'est encore le cas. Cependant, il faut considérer que la mobilité des personnes est croissante, et que les individus sont prêts à des sacrifices financiers pour posséder une voiture ou se déplacer occasionnellement en avion. Un rapport de l'IATA [13] confirme cette hypothèse : la part des voyageurs de la classe « moyenne » est en forte augmentation. La Figure 18 ci-dessous montre la progression entre 1978 et 2003 pour les aéroports de Londres.

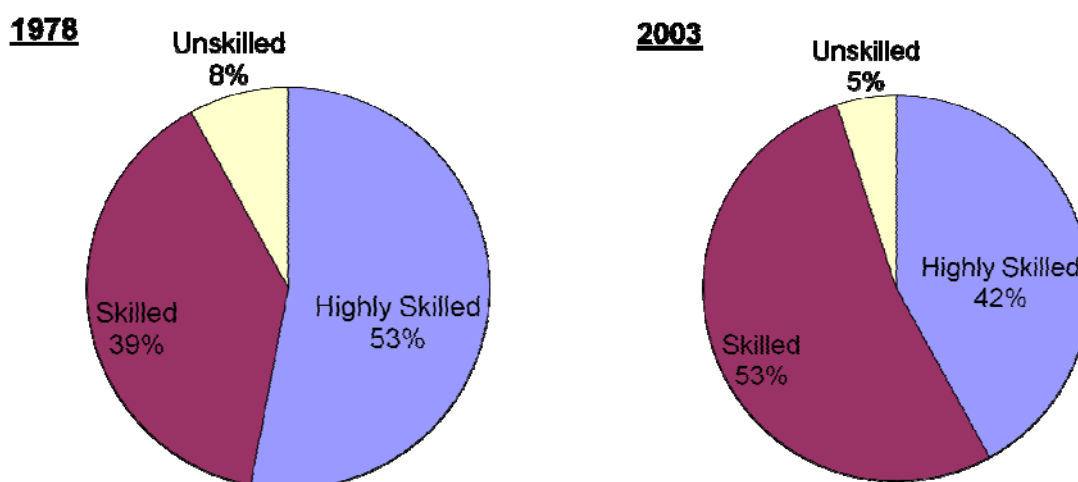


Figure 18 - Evolution des passagers aux aéroports de Londres par degré de formation. [13]

4 Innovations techniques

Actuellement, l'aviation se trouve dans une phase où nous n'assistons pas à l'introduction de technologies révolutionnaires dans les avions, mais plutôt à des tentatives d'améliorations de technologies déjà connues et maîtrisées.

Le marché de l'aviation civile est dominé par deux grands constructeurs : Boeing et Airbus. Le développement récent des nouvelles générations de gros porteurs est axé vers une innovation par palier, sans grande rupture technologique. Cela est grandement imputable à la position dominante de ces deux entreprises qui sont les seules à posséder les connaissances et les ressources financières nécessaires pour le développement complet d'un avion. En effet, le lancement d'un programme nécessite souvent plus de 10 ans de développement, et l'amortissement d'un nouveau modèle se fait sur plusieurs décennies. Ainsi, l'introduction de nouvelles technologies dans le marché des gros porteurs prend beaucoup de temps. Néanmoins, Boeing et Airbus sont tous deux en train de développer des avions à rendement énergétique plus élevé.

4.1 Cas de L'A380

L'Airbus A380 est sur le point d'entrer en fonction en 2007. Il vient de finir une période de 18 mois de tests et vient juste d'acquérir sa licence internationale en décembre 2006; il compte déjà 166 commandes fermes.

Techniquement, Airbus prévoit une diminution de la consommation par passagers d'environ 20% en comparaison d'un avion actuel. Il arrivera à une moyenne surprenante de 3 litres au 100 km par passager! (chiffre Airbus Industries). Pour arriver à un tel résultat, Airbus a utilisé des matériaux composites ainsi que divers alliages métalliques légers. Le fait de transporter une grande quantité de passagers (>555) permet d'obtenir un poids par passager plus faible qu'un avion de taille standard. Par contre, au niveau de son aérodynamique et de sa structure, il n'y a pas de grande révolution technologique.

4.2 Cas de L'A350 et du Boeing 787 dreamliner

Ces deux avions n'en sont actuellement qu'au stade de projets, aucun prototype n'ayant encore été réalisé, mais les constructeurs promettent que ces modèles seront un grand pas en avant en termes de consommation et entretien. Les principales innovations résident dans une

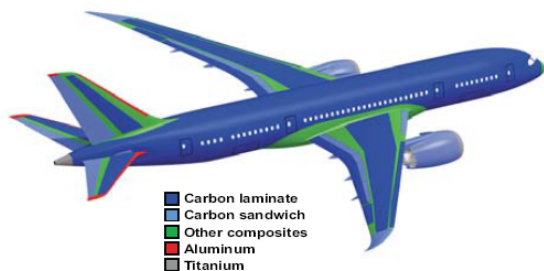


Figure 19 - Matériaux composant le Boeing 787 dreamliner [14]

utilisation très poussée de matériaux composites, couplée à une aérodynamique très affinée ainsi qu'un besoin en maintenance plus faible (30% en moins pour le dreamliner). Cependant les deux avions conservent une structure classique avec fuselage-aile-empennage bien distincts.



Figure 20 - caractéristiques techniques du futur A350 [1]

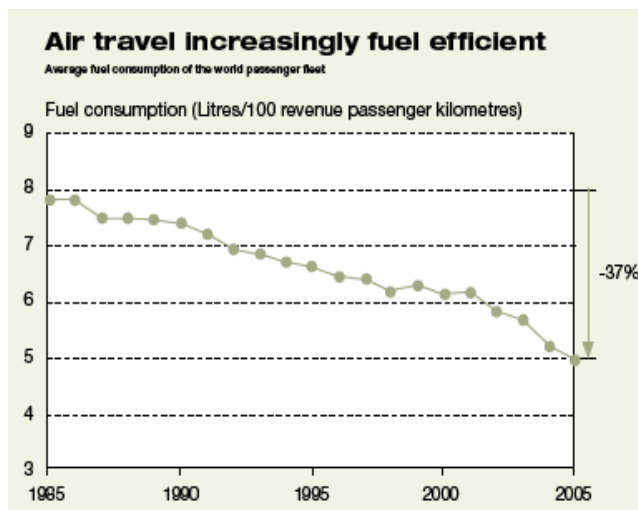


Figure 21 - accroissement de l'efficacité énergétique des avions [1]

Par ces exemples, on voit bien que les développements technologiques actuels sont principalement axés sur la réduction de la consommation de kérosène, car celle-ci représente environ 23% des charges d'exploitation. Néanmoins, de manière à réduire les coûts et durées de développement de leurs appareils, les ingénieurs de chez Airbus et Boeing ne partent pas d'une page blanche. Par exemple, la structure fuselage-ailes-empennage demeure d'une génération d'avion à l'autre depuis plusieurs décennies. En effet ce type de structure facilite l'assemblage ainsi que la construction, mais n'est pas optimum d'un point de vue aérodynamique.

Rentabilisation oblige, la commercialisation de ces avions sera étalée sur 30 ans, ce qui implique que le transport aérien ne verra pas de révolution technologique majeure lors de ces prochaines décennies. Par conséquent, les progrès techniques des prochaines années, tout en atténuant les contraintes, ne résoudront pas la problématique du pétrole et de l'impact environnemental de l'aviation civile, surtout au vu du doublement annoncé du trafic aérien dans les vingt ans à venir. Il faut aussi être conscient que de nombreux appareils obsolètes voleront encore dans de nombreux pays, et qu'il faudra des décennies pour mettre l'ensemble de la flotte mondiale au standard des appareils prévus pour 2010.

D'autres efforts d'efficacité environnementale sont actuellement réalisés : il est à souligner qu'Airbus a déjà obtenu le certificat ISO 14001, qui n'est autre qu'un certificat de système de management de l'environnement, sur quatorze de ses seize sites.

On peut citer d'une façon anecdotique le lointain futur de l'aviation :

Le MIT, l'université de Cambridge ainsi que 30 sociétés travaillent déjà depuis 3 ans sur un projet d'avion silencieux et économe en carburant. Pour cela, ils sont partis d'une feuille blanche en ce qui concerne la structure de l'avion. Ainsi, ils n'ont pas fait une structure classique (fuselage-ailes-empennage), mais ont décidé d'intégrer les deux premières parties (fuselage-ailes) et de ne pas mettre la dernière (empennage).



Figure 22 - Projet SAI [15]



Figure 23 - Projet SAI [15]

Cette forme révolutionnaire engendre une pollution sonore moindre et une efficacité aérodynamique accrue (décollages et atterrissages possibles à des vitesses plus faibles, meilleure pénétration de l'air). L'éventuelle commercialisation de ce projet devrait se faire aux alentours de 2030, il devrait pouvoir transporter jusqu'à 215 passagers et mesurer 44m de long.

D'autres tentatives pour combiner fuselage et ailes sont entreprises sur de plus petits avions type jet. Il est à noter que l'EPFL participe à un de ces projets : le Smartfish. En effet, il s'agit d'un avion dont la forme est inspirée du thon, car ce dernier possède une très bonne pénétration dans l'eau.

Parallèlement à cette étude, plusieurs chercheurs se sont attachés à rechercher de nouvelles technologies permettant de propulser différemment les avions pour délaissier le kérosène au profit d'une énergie moins polluante. Ainsi des études se penchent sur la possibilité de réaliser un avion utilisant l'énergie solaire comme mode de propulsion. D'autres se penchent sur la possibilité d'utiliser la pile à combustible comme source énergétique.

Parallèlement à ces recherches, les USA et l'Australie ont récemment signé un accord sur huit ans concernant la recherche sur les vols hypersoniques expérimentaux (projet HIFIRE : Hypersonic International Flight Research Experimentation). Un des principaux buts du projet

est d'étudier la propulsion hypersonique « screamjet » qui permet de voyager à des vitesses allant de Mach 5 à 15. En développant ce type de moteur, le projet vise les avions longs courriers ainsi que le tourisme spatial. Bien que ce projet soit très gourmand en énergie, dame nature peut se rendormir, car il devrait utiliser une énergie verte pour se propulser : l'hydrogène. À nouveau, il est peu probable de voir cet avion opérationnel avant environ trois à cinq décennies.



Figure 24 - Project HIFIRE

Améliorer la structure des avions ou changer de mode de propulsion sont les voies explorées actuellement dans le cadre de plusieurs études. Cependant, le futur du transport aérien de masse ne comprendra peut-être pas uniquement des avions, mais aussi d'autres types de moyens de transports volants. Nous pensons notamment aux Zeppelins qui, après plus de 50 ans d'inactivité, pourraient reprendre du service. En effet, ils ont une meilleure efficacité énergétique que les avions, mais sont plus lents. L'intégration de cellules photovoltaïques sur leur enveloppe donnerait un avantage concurrentiel non négligeable par rapport aux avions qui utilisent actuellement du kérosène pour se mouvoir.

En fait, il est probable que le transport aérien évolue selon le sens de ce que la demande veut, à savoir un moyen de transport rapide et bon marché. En effet, selon Airbus, le critère numéro un pour choisir un billet d'avion est son prix. De ce point de vue, peu importe l'évolution et les optimisations que l'aviation verra, elle sera toujours un moyen de transport consommant beaucoup d'énergie, peu importe si celle-ci est fossile, nucléaire, ou renouvelable.

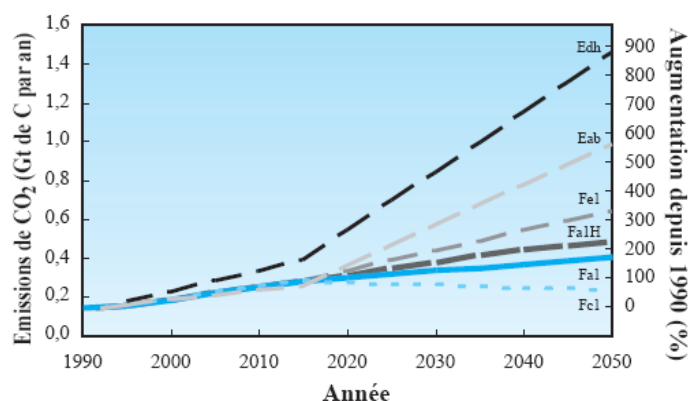


Figure 25 - émissions générées par l'aviation [16]

En conclusion, il est très probable - comme le prévoit le GIEC - que le kérosène continue à être exploité par l'aviation de manière croissante les prochaines années et contribue ainsi à l'effet de serre. L'augmentation des rejets sera principalement liée à la croissance du secteur aéronautique dans les pays émergents et à l'augmentation du tourisme international.

5 L'aviation civile face au réchauffement climatique et vis à vis du protocole de Kyoto

5.1 Analyse des contraintes que pose Kyoto sur les rejets de CO₂

La Commission Européenne étudie la possibilité d'intégrer l'aviation civile européenne dans le protocole de Kyoto vers le début de la prochaine décennie.

Les contraintes posées par Kyoto ne toucheraient alors que le domaine des vols domestiques mais pas les vols internationaux. Les contraintes sur les vols internationaux sont du ressort de l'ICAO (International Civil Aviation Organisation).

La raison est simple. A la base, il n'y avait que 38 pays développés qui avaient ratifié le protocole de Kyoto, parmi lesquelles les Etats Unies et la Russie ne figuraient pas. Il est donc impossible d'appliquer le protocole pour des vols entre pays signataires et ceux ne l'ayant pas ratifié. (Les Etats Unis n'ont pas ratifié le protocole, parce qu'ils devraient réduire leurs émissions de 31% entre 2008 et 2012, ce qui pénaliserait fortement leur économie). La Russie a finalement ratifié le protocole en 2005.

5.2 Positionnement de l'aviation face au réchauffement global

Les avions ont des rejets similaires aux autres transports consommant de l'énergie fossile, à savoir du CO₂ (70%), de la vapeur d'eau (30%) et des autres gaz comme le NO_x, CO, HC, SO_x et des microparticules (similaires à celles rejetées par les moteurs diesels). Ces émissions ne représentent que 3% de l'émission globale de gaz contribuant à l'effet de serre, et de ce fait, elles constituent un argument pour l'aviation civile qui pourra se défendre en insistant sur les impacts plus élevés d'autres sources beaucoup plus polluantes.

Néanmoins, le fait que 90% des émissions de l'aviation soient expulsés en haute altitude (8 à 10 km) augmente significativement l'influence de ces émissions sur l'effet de serre. Ces influences n'ont pas encore pu être clairement identifiées. La IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change, organisme rattaché à l'ONU) a estimé l'influence du rejet des gaz en altitude (principalement dans la troposphère) sur le réchauffement climatique en mesurant la radiation forcée. La radiation forcée (en [W/m²]) indique l'impact climatique d'une augmentation des rejets de gaz contribuant à l'effet de serre, des aérosols et des nuages. En effet, il est prouvé que les particules polluantes dans l'atmosphère modifient la composition des couches atmosphériques, ce qui contribue à retenir une partie des radiations qui ont été réverbérées par la planète.

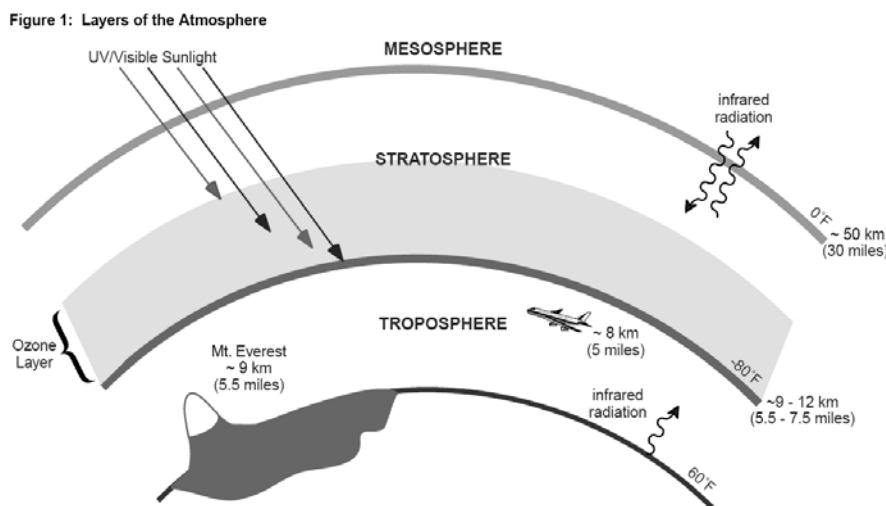


Figure 26 - Les couches de l'atmosphère [17]

En 1999, l'IPCC a estimé l'impact du domaine aéronautique sur l'échauffement globale à 3,5% des émissions mondiales causées par l'activité humaine en 1992. Les estimations pour le futur montrent que ce pourcentage va augmenter à environ 5% des émissions globales d'ici 2050. Si on regarde seulement la contribution des émissions rejetées par le secteur aéronautique, on constate que ceci signifie une hausse de 260% de 1992 à 2050.

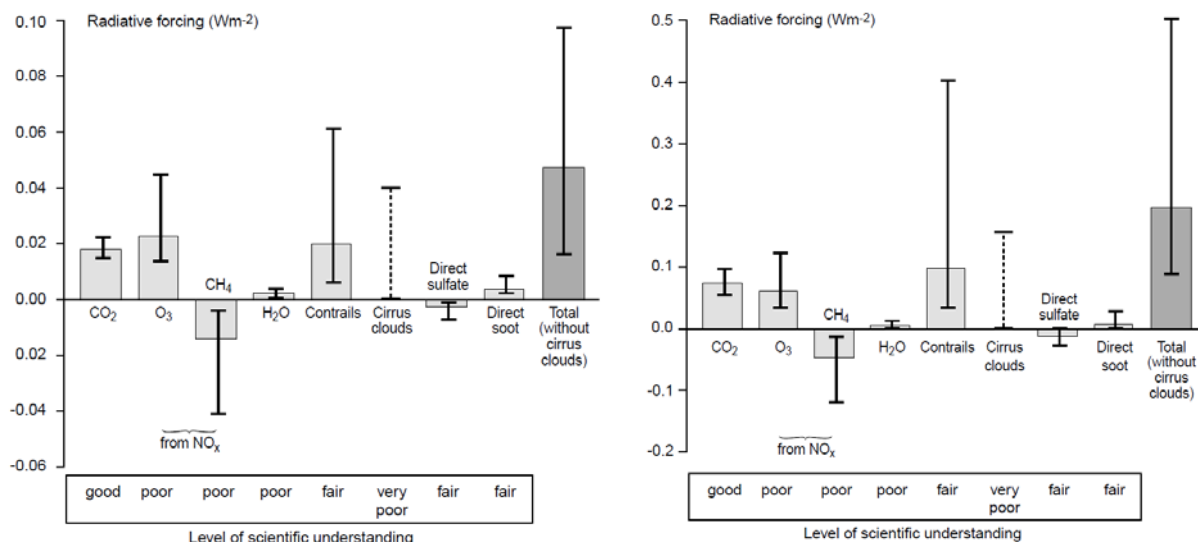


Figure 27 - Energie induite par les radiations captées dans l'atmosphère en [W/m²] en 1992 et en 2050 [17]

La prévision pour 2050 montre que l'on passera de 0,05 W/m² à 0,2 W/m² soit une augmentation d'un facteur quatre, comme figuré ci-dessus!

5.3 Analyse d'autres types des nuisances autour des aéroports

L'autre aspect plus problématique à court terme pour l'aviation civile est l'augmentation constante des nuisances autour des aéroports. Bien que les derniers modèles de réacteurs ont permis de réduire drastiquement l'intensité des émissions sonores (baisse de 10 à 20 dB), ils ne suffisent pas à compenser l'explosion du trafic aérien, en particulier autour des grands hubs. Ces nuisances sonores ont un effet direct sur la santé des riverains, cause de troubles du sommeil et de dépression. Des études récentes indiquent une prévalence de certains types de cancers liés à l'absorption de substances cancérigènes autour des aéroports.

6 Moyens de luttres contre les nuisances et stratégies de taxation

Plusieurs stratégies doivent être abordées. Le problème peut être résolu de plusieurs manières.

Avant de développer ces stratégies, il nous faut définir trois concepts de bases qui seront repris lors des différentes modélisations théoriques que l'on utilisera :

Mitigation = atténuer, diminuer (en l'occurrence les rejets de CO₂)

E = quantité totale d'émission nuisible

I = quantité d'émission subies par les victimes

Δ_m = quantité d'émission éliminé par la mitigation = $E - I$

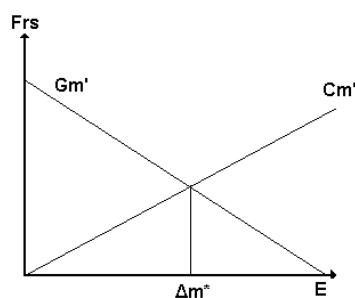
$D(I)$ = Dommage crée par les émissions

$G_m(\Delta_m)$ = Gain marginal (dommage évité) = $D(E - \Delta_m)$

$C_m(\Delta_m)$ = Coût de mitigation

Le but est de maximiser le gain net, c'est-à-dire la différence entre le gain marginal et le coût de mitigation. Pour trouver ce maximum, on utilise la dérivée de G_m et de C_m , avec le calcul suivant : $[G'_m(\Delta_m^*) - C'_m(\Delta_m^*)](E - \Delta_m^*)\Delta_m^* = 0$. Grâce à cette équation, on obtient l'effort optimal de mitigation.

Représenté graphiquement cela donne un graphique de la forme suivante :



6.1 1^{ère} stratégie : Allocation de certificats

On peut obliger le pollueur à réduire ses émissions polluantes en introduisant des limites sur les émissions sonores et les polluants. Chaque avion a besoin d'un certificat valide pour voler dans le ciel occidental. Le prix du certificat est lié à la performance de l'appareil. Les avions obsolètes (comme certains vieux Tupolev) ne reçoivent plus de certificat pour le ciel européen. Une telle certification a été introduite par l'ICAO (International Aviation Organisation) dans les années soixante, et distingue les avions dans différentes catégories de puissance d'émissions sonores. Cette classification est tout à fait globale. Il faut ajouter que cette certification est actualisée très fréquemment, par exemple quand de nouveaux réacteurs arrivent sur le marché.

Cette stratégie est basée d'une part sur l'usage d'instruments réglementaires (interdictions, normes).

L'organisme de contrôle peut fixer des seuils maximum de pollutions (qui correspondent à l'effort de mitigation Δa), au-delà desquels l'avion n'est plus autorisé à voler (permet de retirer du marché les appareils obsolètes très polluants). La difficulté de cette méthode est de pouvoir faire tendre l'effort de mitigation Δa obligatoire vers le seuil de « pollution optimal Δm », qui tient compte à la fois des contraintes environnementales et économiques.

Afin de rendre efficient l'usage de cet instrument réglementaire, il faut que les amendes données aux émetteurs ne respectant pas la loi soient plus élevées que l'économie qu'ils peuvent faire en ne se mettant pas en conformité avec le règlement.

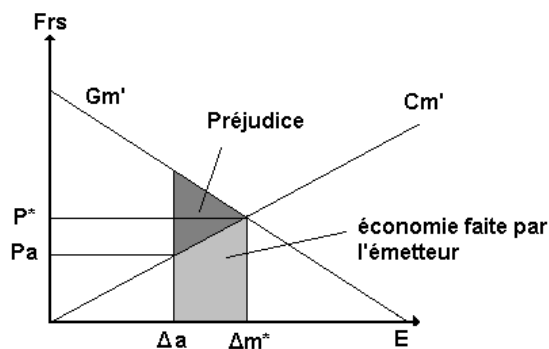


Figure 28

$$\text{Economie de l'émetteur} = (P^* + Pa) \frac{\Delta_m^* - \Delta_a}{2} = [C'_m(\Delta_m^*) + C'_m(\Delta_a)] \frac{\Delta_m^* - \Delta_a}{2}$$

6.2 2^e stratégie : Taxes d'aéroport en fonction des émissions de l'avion

La deuxième possibilité est l'ajustement des taxes d'atterrissage et de décollage en fonction de la classification de l'appareil. Le désavantage de ce modèle est qu'il ne limite pas directement la pollution globale, mais incite cependant les compagnies aériennes à investir dans des avions plus performants.

L'aéroport de Zurich-Kloten était le premier aéroport au monde qui avait introduit un tel système de taxation le 1^{er} septembre 1997. Les avions sont classifiés selon leurs EEF_{TF} (pour les avions entraînés par des turboréacteurs) ou EEF_{TS} (pour les avions entraînés par un turboprop) qui sont calculés selon les équations qui sont énoncées dans la Figure 29 (VOC : Volatile Organic Compounds). Selon la classification (voir Figure 30) la taxe d'atterrissage augmente pour les réacteurs inefficaces.

$$EEF_{TF} = (NO_{xLTO} + VOC_{LTO}) / \text{max. thrust} \\ \text{[g/kN] for turbofan engines}$$

$$EEF_{TS} = (NO_{xLTO} + VOC_{LTO}) / \text{power} \\ \text{[mg/hp] for turboshaft engines}$$

Figure 29 - Facteur de classe d'émission [18]

Engine Emission Class	EEF from-to Turbofan (g/kN)	EEF from-to Turboshaft (mg/hp)	% to the landing fee
5	0 - < 50	0 - < 400	free
4	50 - < 60	400 - < 800	5 %
3	60 - < 80	800 - < 1200	10 %
2	80 - < 100	1200 - < 2400	20 %
1	100 -	2400 -	40 %
Other non-certified engines			10 %

Figure 30 - Pourcentage du total des taxes payés en fonction de la classe d'émission [18]

Avec cette mesure incitative, les réacteurs très polluants de classe 1 payent les 40% du total des taxes, alors qu'ils représentent moins de 5% des mouvements. Les avions avec des réacteurs de classe 5 (la plus propre) sont passés de 25% des mouvements en 1992 à 60% en 2002. On voit ainsi l'efficacité de cette mesure pour lutter contre les nuisances sonores autour de l'aéroport. Dans ce sens, le schéma suivant est très explicite (Figure 31).

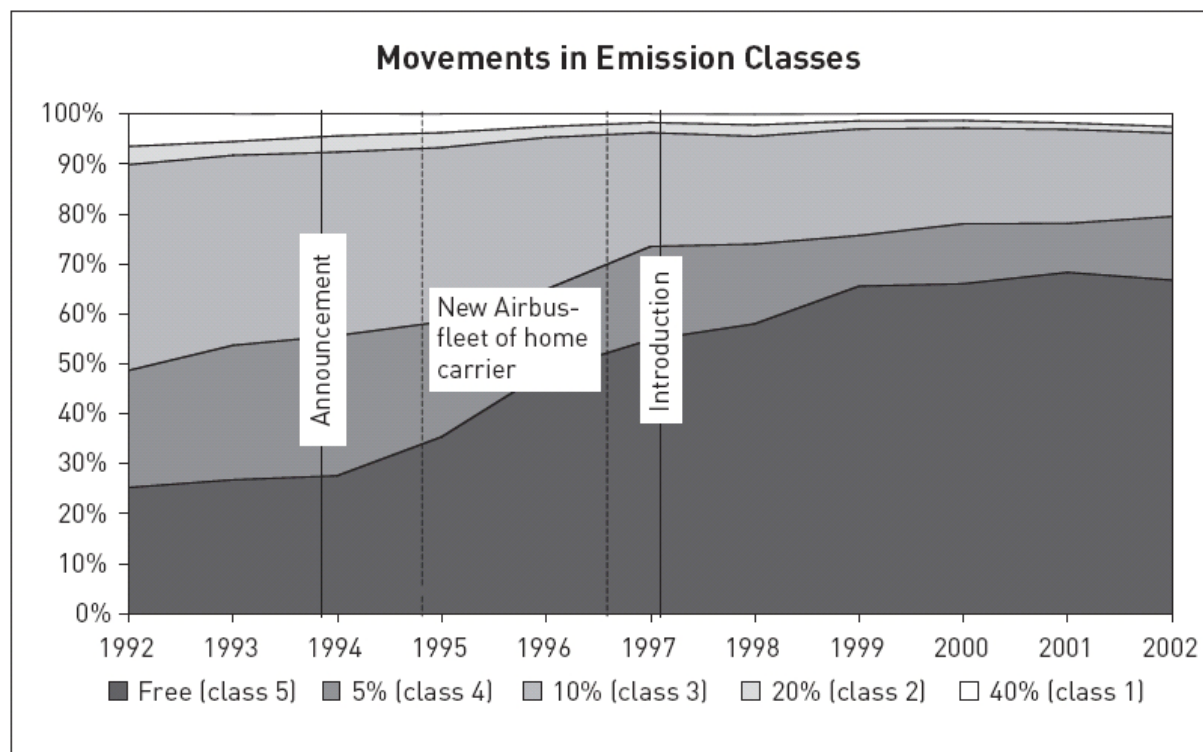


Figure 31 - Distribution des avions par classe d'émission [18]

La gratuité du mouvement pour les avions les moins polluants à bien sûr un coût ; l'aéroport « subventionne » ce type d'appareil par le produit des taxes sur les modèles les plus polluants. Le modèle suivant décrit le principe du subventionnement.

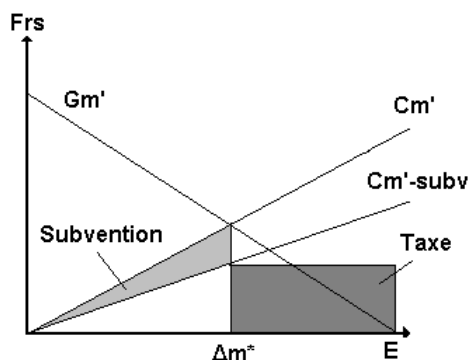


Figure 32 – Subvention sur les coûts d'abattement

La mise en place de ce système à Zurich, a tout d'abord été contesté, par peur que ce nouveau système de taxe fasse migrer les compagnies vers des aéroports plus laxistes. Cependant, au vu du succès de la mesure, cette politique a été adoptée dans plusieurs aéroports européens. En Allemagne par exemple, tous les aéroports utilisent cette classification pour fixer leurs taxes. Ces taxes ne dépendent pas seulement de la catégorie de l'avion mais aussi de la période du créneau de décollage ou d'atterrissage.

En regardant seulement les émissions sonores, il faut prendre en compte que ces nuisances ne sont pas les mêmes 24 heures sur 24. Selon différentes études, l'impact du bruit sur la santé d'un riverain est plus important pendant la nuit que pendant la journée. Par conséquent il y a beaucoup des aéroports qui ont introduits un couvre-feu pour parvenir à cet effet (à l'Aéroport de Genève par exemple, les mouvements sont proscrits entre minuit et six heures).

6.3 3^e stratégie : Utilisation de quotas d'émissions échangeables

Une approche plus globale est celle de l'introduction du secteur aérien dans un ETS (Emission Trading Scheme), qui est une sorte de bourse de quotas concernant les émissions. Les compagnies qui polluent moins peuvent vendre leurs quotas restants et les compagnies qui causent plus d'émissions polluantes peuvent les acheter. Ce modèle a l'avantage de limiter les émissions totales, et constitue un moyen de régulation directe sur les émissions autour des aéroports. Pour les émissions sonores, un tel système a été introduit à Francfort et le résultat est positif. Dans la figure ci-dessous, on peut constater que le nombre de quotas à disposition est resté presque constant, mais que le nombre de quotas utilisés a légèrement diminué entre 2002 et 2005.

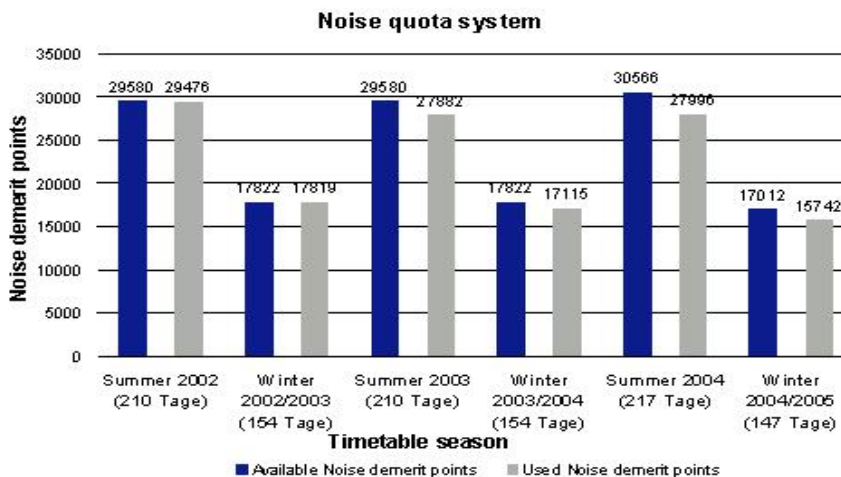


Figure 33 – Quotas d'émissions sonores nocturnes à Frankfort [19]

L'European Union Emission Trading Scheme (EUETS) est déjà en fonction en Europe pour les émissions de CO₂ émises par les industries très polluantes (le domaine d'application actuel couvre environ 45% des émissions totales de CO₂ de l'Union Européenne), mais n'inclut pas encore d'autres polluants comme les NO_x. L'intégration de l'avion civile dans EUETS augmenterait l'intérêt de créer des quotas pour les NO_x et autres polluants rejetés en haute atmosphère. Néanmoins la quantification de ce type de rejet est extrêmement difficile à établir, car ces émissions ne sont pas directement liées à un volume de carburant consommé, mais à l'efficacité et l'optimisation de la combustion dans les moteurs et réacteurs, ce qui explique les réticences de l'introduction de quotas pour ces polluants.

Malheureusement, l'introduction du secteur aérien dans un ETS pour les émissions de CO₂ dans toute l'Europe n'est pas envisagée avant 2012, mais elle est déjà à l'étude.

Plusieurs politiques d'intégration du secteur aérien au EU ETS sont actuellement discutées. :

- attribution de quotas spécifiques pour le secteur aérien
- utilisation des quotas existants (non différenciation de l'aviation par rapport aux industries émettrices)
- solutions hybrides (part de quotas spécifiques + quotas généraux)

6.3.1 Fonctionnement du système des quotas

- Quotas d'émissions (QE)

Dans le cadre de l'utilisation des quotas d'émission (QE), un quota total d'émission est fixé, puis redistribué sous forme de certificats. On peut comparer ces certificats à une autorisation de polluer une certaine quantité pendant un certain temps. Lorsque plusieurs émetteurs existent, ces certificats peuvent être échangés, vendus entre les différents émetteurs. Il est donc possible de répartir différemment les efforts de mitigation entre les différents émetteurs suivant le coût d'abattement de chacun des acteurs. La régulation se fait donc entre les différents émetteurs et non pas par un organe externe.

- o Tous les quotas doivent être achetés

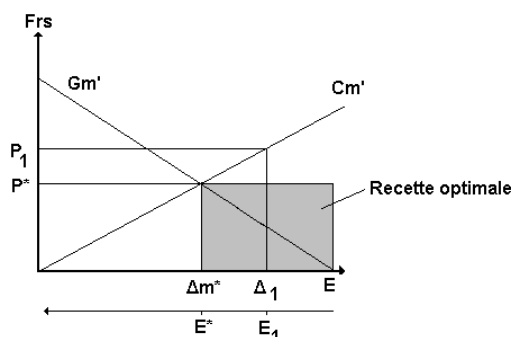


Figure 34

P_1 = Prix du certificat, Δ_1 = mitigation engendrée par P_1 , P^* = prix optimal du certificat. Recette = $P \cdot E$, donc la Recette optimale = $P^* \cdot E^*$.

- Attribuer gratuitement une certaine quantité de quotas

Le fait d'attribuer une certaine quantité de quotas d'émission gratuitement réduit la recette, mais allège la facture des émetteurs :

$$E' = \text{quantité de certificat donnés gratuitement}$$

$$\text{Recette} = P \cdot (E - E')$$

- Attribuer plus de quotas que le volume optimum

Une autre stratégie consiste à donner un nombre de certificats (E') plus importants que le volume optimal d'émission et propose d'acheter les certificats inutilisés. Dans cette configuration, le pollueur ne paie pas pour polluer, mais il est payé pour ne pas polluer. La recette du pollueur est égale à : $P \cdot (E' - E)$.

Dans le cadre du marché de l'aviation, cette alternative semble peu applicable car il est peu probable que l'on trouve des gouvernements d'accord de payer les émetteurs afin qu'ils polluent moins. Le principe du pollueur-payeur est mieux accepté.

6.3.2 Allocation des droits d'émission

Il convient de définir la méthode d'attribution des droits d'émissions qui pourrait s'appliquer au transport aérien. La première possibilité, appelée « Grandfathering », est une approche basée sur les émissions des années précédentes. Ce système a le désavantage de favoriser les compagnies les plus polluantes, car elles profitent de larges quotas, attribués sur les bases des valeurs antérieures.

La deuxième possibilité, le « Benchmarking », attribue les quotas sur des valeurs de référence correspondant à la moyenne des émissions du secteur concerné. Ainsi les sociétés polluant au-delà de la moyenne devront réduire leurs émissions, alors que les compagnies efficaces peuvent vendre leurs quotas excédentaires.

La troisième possibilité, le principe de « l'Auctioning », à l'opposé des deux possibilités précédentes, n'accorde pas de quotas « gratuits », mais utilise le principe du pollueur payeur. Ce système assurant un maximum de revenus à l'émetteur des quotas, il permet de financer des mesures de limitations d'émissions de CO₂ dans des secteurs où des progrès sont facilement réalisables.

La quatrième possibilité, nommée « Baseline » ne demande aux entités du domaine du transport aérien d'acquérir des droits d'émission que dans le cas où elles dépassent un certain seuil qui est fixé en fonction de la période précédente et des objectifs à atteindre.

Finalement, la dernière possibilité exclut l'allocation des droits d'émissions aux entités du secteur du transport aérien, ce qui implique qu'elles doivent les acquérir des autres secteurs.

L'allocation de droits d'émissions nécessite évidemment des contrôles. La procédure la plus précise est la mesure des carburants consommés dans les avions, ce qui permet de déterminer précisément le volume de CO₂ émis. L'usage de tables qui évaluent la consommation en fonction du type d'appareil et de trajet est une solution simple et efficace, bien que plus approximative.

A noter que des appareils de mesure de polluant commencent à être installés sur le nez des appareils pour évaluer les rejets en haute atmosphère de polluants spécifiques.

En conclusion, il est à l'heure actuelle impossible de chiffrer précisément l'incidence financière qu'aurait une politique de quotas sur les compagnies aériennes. Les coûts dépendront d'une part des décisions de la Commission Européenne sur les méthodes à utiliser pour l'attribution des droits d'émissions et surtout seront liés à la valeur boursière de la tonne de CO2 émise.

Comme le montre le graphique ci-dessous, la bourse de quotas échangeable souffre actuellement d'une très grande volatilité, d'où l'impossibilité de prévisions à très long terme.

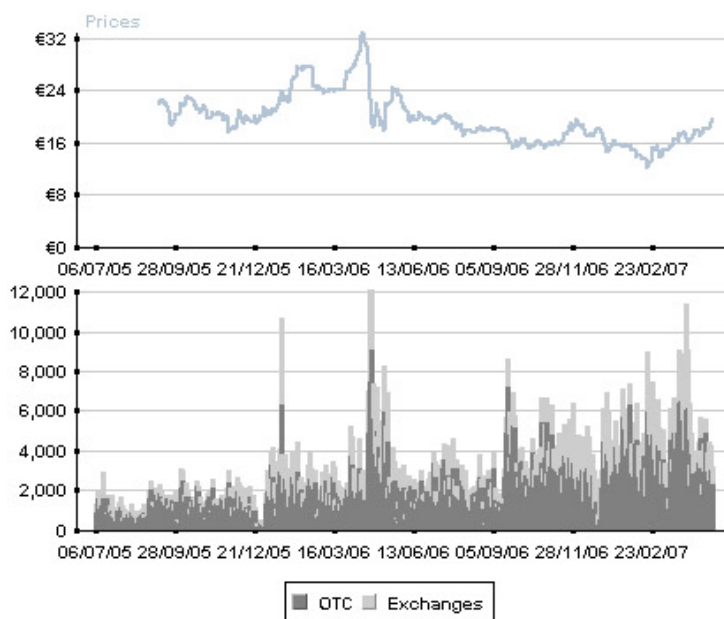


Figure 35 - Prix et volumes échangés des droits d'émissions communautaires de CO2 [²⁰] [21]

6.4 4^e stratégie : Mesures palliatives

Une approche radicalement différente peut viser à investir de l'argent non pas dans la diminution des nuisances, mais dans les moyens permettant de réduire / supprimer les impacts de ces nuisances (ex. murs et fenêtres antibruit autour des aéroports). Ces coûts externes sont dorénavant systématiquement englobés dans tout nouveau projet de développement aéroportuaire en Europe ; même les plateformes existantes sont concernées : actuellement un plan d'indemnisation global est à l'étude pour l'aéroport de Kloten, mais les détails ne sont pas encore réglés, avec le conflit latent entre les riverains du sud de l'Allemagne et ceux de la région zurichoise.

Les réglementations face aux nuisances deviennent de plus en plus pointues, et la construction de nouvelles pistes devient très complexe en Europe. Cet aspect risque de brider partiellement la croissance du secteur aérien en Europe, mais donne des arguments aux gros porteurs de nouvelle génération (A 380, A 350, B 787), conçus pour limiter les mouvements aériens et équipés de réacteurs restreignant les émissions sonores.

Un autre moyen possible pour obtenir un résultat tangible est la mise en place d'une taxe sur le kérosène, à l'image de ce qui existe déjà pour les taxes d'aéroports de certains pays, proportionnelles au certificat de l'avion. Il reste cependant à déterminer quelle serait l'ordre de grandeur de cette taxe, de telle manière qu'elle soit efficiente, et permette une limitation efficace des émissions causées par l'aviation. L'effet d'une taxe élevée obligerait, d'une part les compagnies aériennes d'utiliser des avions très performants, et, d'autre part, pousserait certains voyageurs à se tourner vers d'autres modes de transport, en particulier pour les courtes et moyennes distances, vu l'augmentation inévitable du prix du billet.

Il est cependant très difficile d'estimer le taux nécessaire de taxation, et surtout de fixer un objectif absolu d'émission! En ce sens, une taxe sur le kérosène aurait un effet tout à fait similaire à des taxes sur les émissions de CO₂, vu que les quantités de CO₂ émises sont proportionnelles au kérosène consommé. Dans ce sens, pour évaluer une politique de taxation efficace du carburant, on peut se ramener à la stratégie 3 présentée précédemment, concernant les quotas d'émissions échangeables.

7 Position de l'industrie du transport aérien face à de nouvelles taxes

La mise en place de toute mesure de taxation supplémentaire est un sujet sensible, l'industrie du transport aérien s'estimant suffisamment taxée, au regard des autres modes de transports collectifs (le train est très fortement subventionné en Europe, en particulier au niveau des infrastructures). Entre 1998 et 2003, les taxes relatives au transport aérien ont augmenté de 14% pour l'Allemagne et la France, et de 5% pour le Royaume-Uni... Cependant, les lobbys du transport aérien ne mentionnent pas le fait que le secteur aérien a profité de nombreuses subventions en Europe ou Etats-Unis, pour éviter la faillite de nombreuses compagnies nationales (Air France dans les années 1990, Swiss en 2001, et plus récemment American Airlines, Delta, Alitalia...). Bien que la plupart du secteur aérien soit autonome financièrement, à contrario des compagnies de train, il n'est que faiblement taxé. En Allemagne par exemple, selon les chiffres de l'IATA, le bilan est neutre pour l'aviation civile, alors que le trafic routier est un très large contributeur par l'ampleur des différentes taxes, et que le rail est subventionné :

The Calculation of Net Contribution by Transport Mode for Germany [table3] - € million

	AVIATION	ROAD	RAIL	LIGHT RAIL
TAXES & SUBSIDIES				
Fuel Excise Tax	-	28,983	217	-
Annual Circulation Tax	-	7,757	-	-
VAT on Fuel/Fares	364	4,565	34	-
Capital Subsidy	-	-	(7,175)	-
Operational/Fare Subsidy	-	-	(4,244)	(1,622)
TOTAL (A)	364	41,305	(11,168)	(1,622)
INFRASTRUCTURE				
Infrastructure Usage Charge	787	411	3,873	-
Terminus Usage Charge	3,121	-	693	-
Infrastructure Costs	(3,488)	(26,176)	(12,621)	(2,067)
Inf Costs Net of Capital Subsidy	(3,488)	(26,176)	(5,446)	(2,067)
TOTAL (B)	420	(25,765)	(880)	(2,067)
NET PAYMENTS (A+B)	784	15,540	(12,048)	(3,689)

Source: UNITE; Federal Statistical Office of Germany; IATA

Figure 36 - Bilan des différents modes de transport en Allemagne [22]

Ainsi bien que le kérosène ne soit pas encore taxé, l'industrie aérienne paye déjà des taxes importantes des plus variées, souvent liées aux coûts des infrastructures et des mesures de sécurité. La proposition du président français Jacques Chirac d'imposer une taxe pour le développement des pays du tiers monde a été très mal ressentie par le secteur aérien européen, en particulier car elle biaise la concurrence entre les pays devant l'appliquer et ceux qui en sont exemptés. A l'heure actuelle, les compagnies européennes sont en discussion avec la Commission Européenne, pour la prochaine intégration du secteur aérien au protocole de Kyoto.

8 Conclusion

Il est clair que de nouvelles taxes vont s'imposer à moyen terme, pour motiver le transport aérien à réduire voir stabiliser ses émissions. Il paraît évident, au vu des différents facteurs que le transport aérien mondial va très fortement se développer dans les vingt ans à venir, malgré quelques problèmes récurrents, comme la hausse continue du prix du kérosène. On peut néanmoins se demander si le transport aérien n'est pas stigmatisé, ne représentant que 3% des rejets totaux de CO₂, et que paradoxalement il ne pollue pas significativement plus, toutes proportions gardées, qu'un automobiliste pendulaire seul dans son véhicule. Ainsi il n'est pas politiquement justifiable de s'acharner sur cette industrie, bien qu'il soit raisonnable qu'elle doive payer à terme des taxes en rapport avec les autres carburants fossiles déjà taxés.

Le secteur aérien redoute fortement l'imposition d'une taxe linéaire sur le kérosène, qui risquerait de peser très lourdement sur les finances des compagnies. Les possibilités de réduction de consommation de carburant étant assez limitées dans ce secteur, un échange de quotas d'émission permettrait de transmettre à moindre coût les efforts d'abattement sur des industries où de grands gains d'efficacité sont réalisables. Dans ce sens, l'intégration du secteur aérien dans l'EU ETS paraît être la solution optimale, la gestion des rejets devant être vue d'un point de vue global. Il ne sert à rien de surtaxer le kérosène ou l'essence, si on exempte le mazout de chauffage ou le diesel pour les véhicules agricoles. Enfin, les potentielles taxes sur le kérosène ou la création de bourses de quota doivent être appliquées mondialement (sinon par les pays industrialisés), pour éviter de biaiser les conditions de concurrence entre marchés et compagnies aériennes.

L'autre approche prometteuse, étudiée actuellement par la commission européenne consisterait à restreindre les vols court-courriers, par différentes mesures. Ces vols sont facilement remplaçables par d'autres moyens de transports et sont les plus polluants. La solution des quotas ou d'une taxe sur le kérosène ne différenciant pas le type de vols, l'application de fortes taxes d'atterrissage inciterait à diminuer l'usage de vols de courte distance. L'amortissement d'une telle taxe est plus aisé sur un vol long-courrier.

Une solution indirecte peut être l'amélioration de la compétitivité d'autres modes de transport, comme les liaisons ferroviaires à grande vitesse. Le facteur déterminant pour le voyageur étant le prix, suivi du temps de transport et sa commodité (confort et horaires), l'amélioration de l'offre, avec des gains de temps et un prix compétitif permettra à ce mode de transport de prendre des parts de marché au secteur aérien. Des perspectives prometteuses se dessinent pour les prochaines décennies, particulièrement si les liaisons deviennent extra-nationales. Le TGV français, l'ICE allemand, l'AVE espagnol sont efficaces à l'échelle nationale, mais les réseaux de chemins de fer ne sont pas conçus pour les liaisons internationales, vu les différents type d'alimentation du réseau, d'écartement de voie... Cependant, des discussions sont en cours à Bruxelles pour attribuer des fonds stratégiques de l'Union Européenne à la mise en place de tels réseaux. On peut parier que ce projet sera réalisé sur des décennies, vu les sommes colossales nécessaires et les résistances politiques. Heureusement, certaines nouvelles infrastructures ferroviaires sont de grands succès et des exemples à suivre : la nouvelle ligne TGV Paris-Marseille est une réussite, et a permis de cannibaliser une partie du trafic aérien sur cette ligne ; la réflexion est similaire pour la ligne Madrid-Séville, que nous présenterons ultérieurement dans l'annexe 1.

Cependant, il faut être conscient que ces alternatives de transport ne résolvent pas la problématique du besoin de mobilité croissante des individus. La plupart des réseaux routiers ou ferroviaires commencent à être saturés, malgré les efforts de modernisation constante des réseaux, l'offre n'arrivant pas à suivre la croissance très rapide de la demande. De plus, un investissement dans un mode de transport a tendance à faire baisser le niveau du prix, induisant une mobilité accrue.

Aujourd'hui, il n'est ainsi plus concevable de contraindre la mobilité des individus, qui est considérée comme un droit dans une société moderne. L'interdiction n'étant pas envisageable, l'autorité se dirigera vers la surtaxation. La surtaxation d'un mode de transport ne ferait que reporter le trafic sur les autres moyens de transport. La nécessité d'une taxation optimale de l'aviation civile s'inscrit dans le besoin de garantir une mobilité optimale en termes de coût économique et environnemental. Dans ce sens, une vision globale des différents modes de transport est nécessaire. La probable taxation du secteur aérien dans le cadre du protocole de Kyoto va dans la bonne direction, à condition que les autres acteurs du transport soient tous intégrés dans ce même protocole. A problème global, solution global...

Lausanne, le 2 mai 2007

Aurèle de Bosset, GM

Jannick Fenner, GM

Gaëtan Matthey, MT

Olivier Thommen, MT

9 ANNEXES

9.1 Annexe 1 : Exemple de compétition intermodale

Il est assez bien établi que les trains à grande vitesse peuvent détourner majoritairement le trafic aérien sur des axes où le temps de parcours est inférieur à 3 heures. Ceci correspond typiquement à des distances de 500-800 km. Ces valeurs peuvent être confirmées dans le rapport COST 318 [23].

Prenons la ligne de Madrid-Séville comme exemple. Ces deux villes espagnoles se trouvent à environ 500 km l'une de l'autre. Une distance qui convient très bien pour un train grande vitesse mais aussi pour une ligne aérienne. Avant l'introduction de l'AVE en 1992, la part modale était dominée par l'avion. L'AVE a coupé le temps de parcours en train de 6h à 2h30. Un temps de parcours idéal pour concurrencer l'avion. Comme on peut aisément voir dans la Figure 37 ci-dessous, le train à grande vitesse a repris la quasi-totalité de la part du marché de l'avion sur ce tronçon.

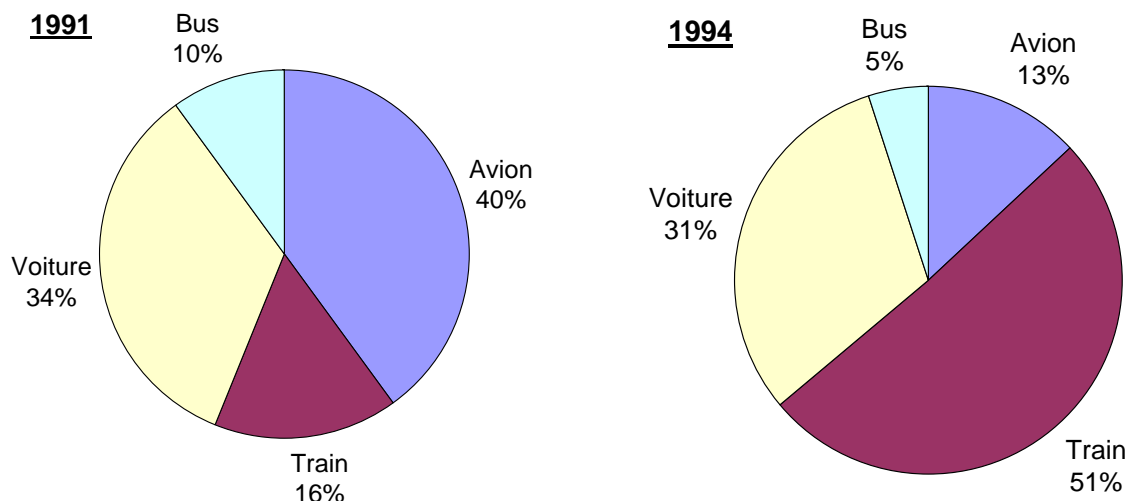


Figure 37 - Répartition modale sur le trajet Madrid-Sevilla [23]

Nous voyons que la part de la voiture est quasi inchangée. Ceci met en évidence un facteur important dans le choix d'un individu vis-à-vis de son moyen de transport. L'utilisateur de l'avion veut souvent épargner du temps, et se soucie donc moins du prix. L'utilisateur d'une voiture cherche à économiser de l'argent, veut transporter quelque chose, habite loin de la gare, etc. La voiture n'est souvent pas directement en compétition avec l'avion ou le train pour certains trajets court-courriers en Europe. Notons que cette constatation ne tient pas pour les Etats-Unis.

Regardons dans la figure ci-dessous le nombre de voyages annuels effectués avant et après la mise en service :

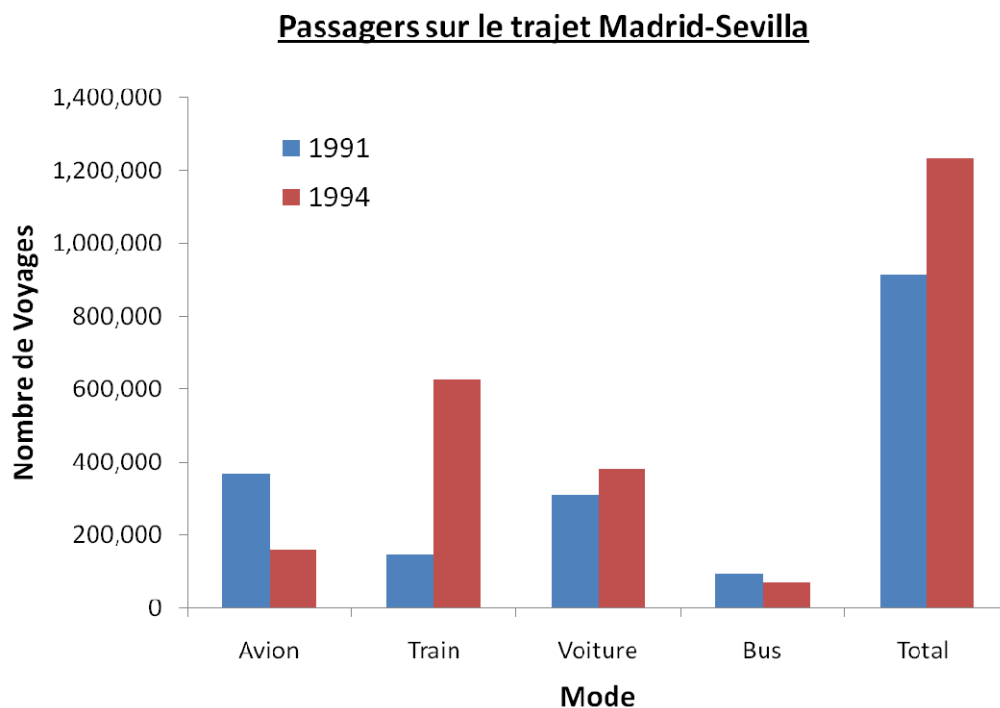


Figure 38 - augmentation de 35% du nombre de trajets Madrid-Sevilla [23]

Nous constatons que la mise en service de l'AVE n'a non seulement pris des parts de marché aux autres modes de transport, mais a aussi la mobilité (le niveau de demande). En effet, le nombre de passagers effectuant le voyage Madrid-Sevilla a augmenté de 35% entre 1991 et 1994.

9.2 Annexe 2 : Demande pour l'aviation civile en fonction du PIB

Pour compléter cette analyse, regardons la demande pour le transport aérien en fonction du Produit Intérieur Brut (Figure 39).

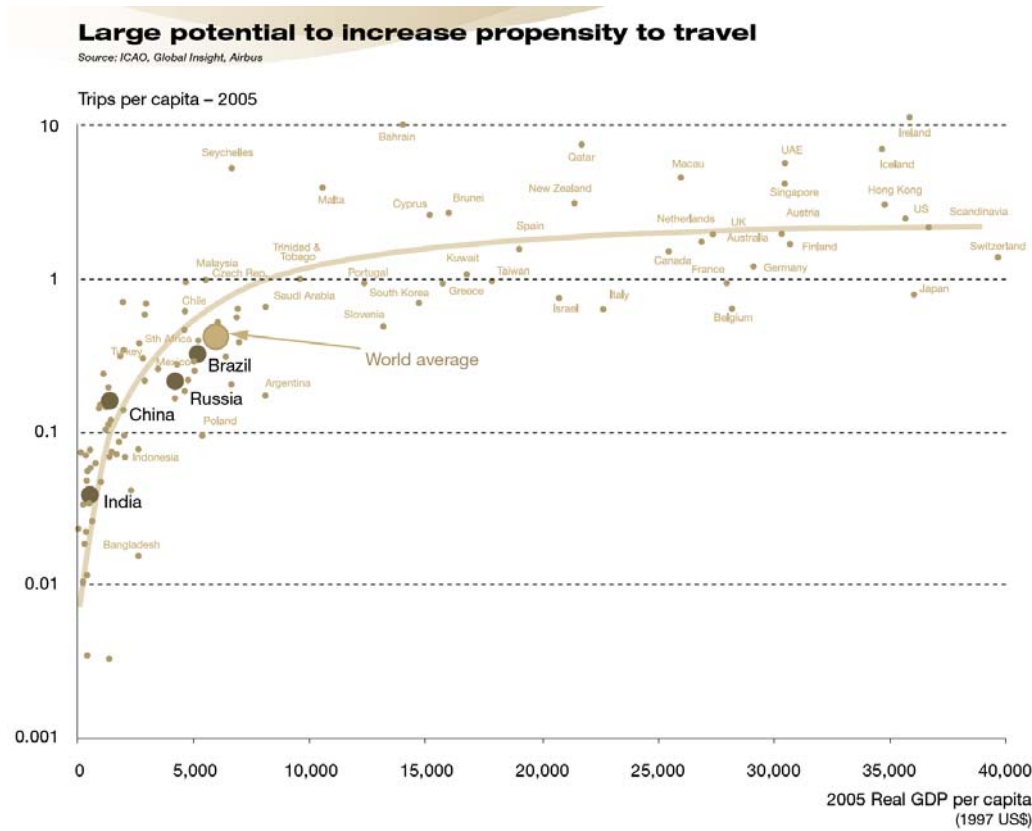


Figure 39 – Demande pour le transport aérien croissant avec le PIB [1]

Si le développement économique de certains pays comme la Chine ou l’Inde continue à ce rythme, la demande pour le transport aérien va exploser.

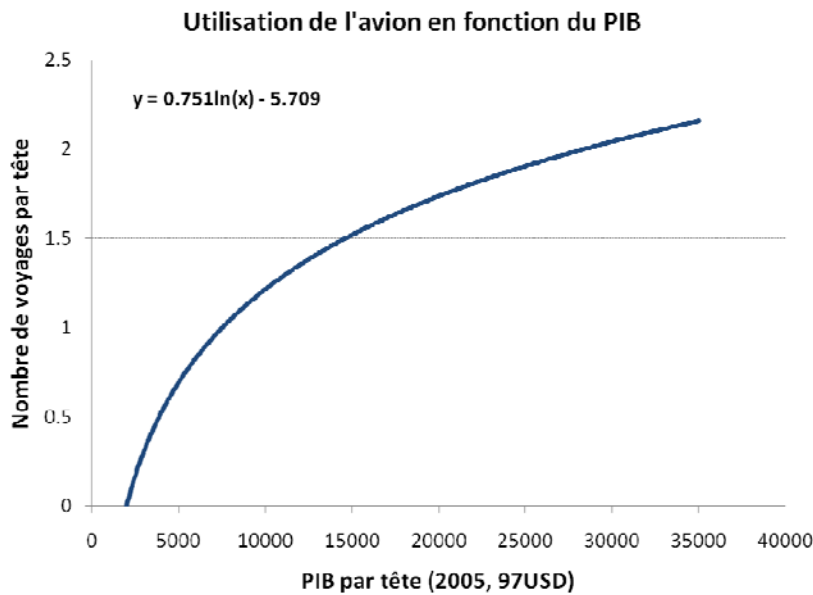


Figure 40 - La demande augmente avec la croissance du PIB¹

¹ Les figures 40-41 ont été réalisées avec Excel a partir des données de [1]

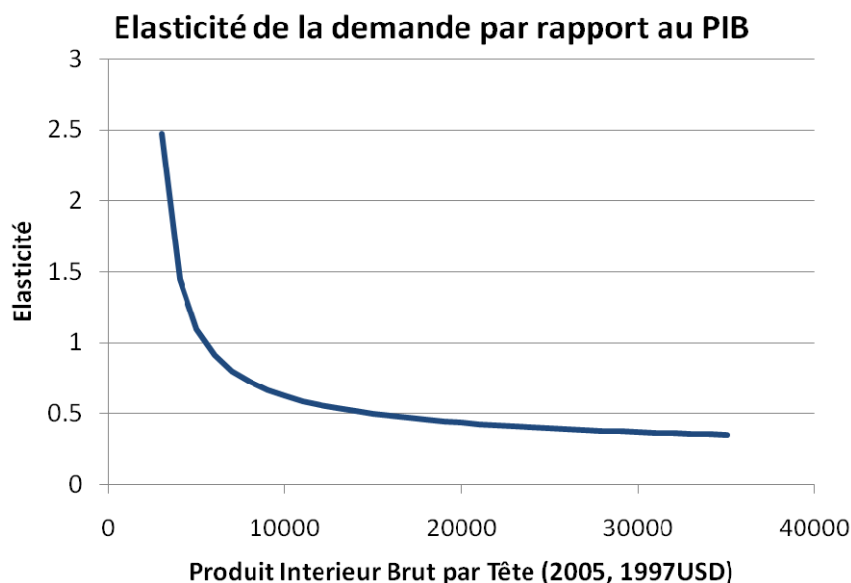


Figure 41 – En admettant pouvoir comparer entre pays¹

On constate que l'élasticité se stabilise dès qu'un certain stade de richesse du pays est atteint. L'aisance de la population permet de faire face à une forte volatilité du prix du billet, alors que les citoyens d'une économie en transition sont très sensibles à des hausses du prix du transport.

Figure 2 Terminal passengers by flight type, UK airports, 1978-1999

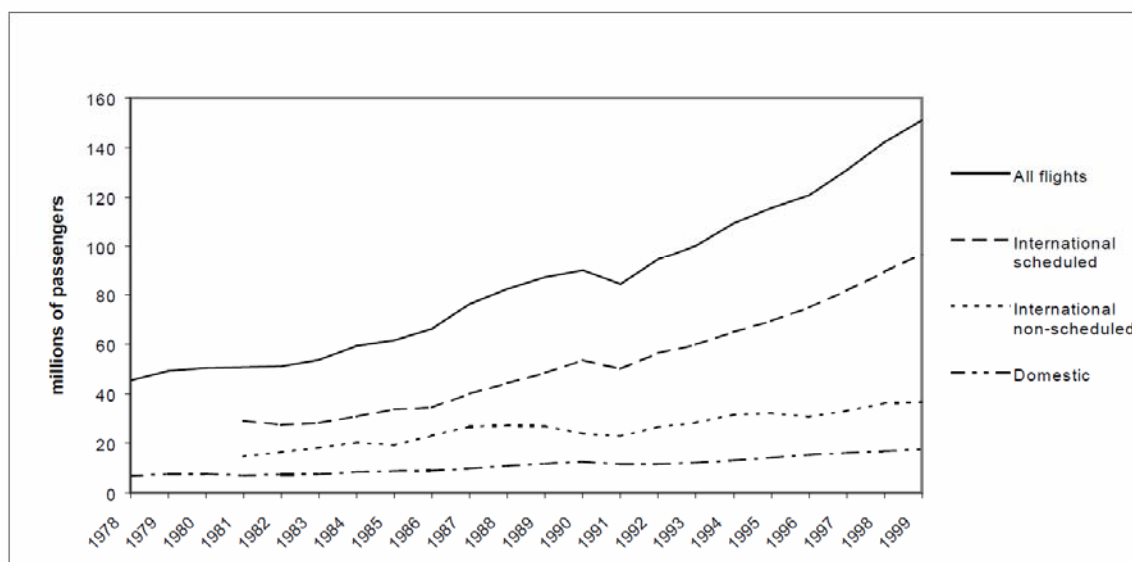


Figure 42 - Evolution du nombre de passagers dans les aéroports britanniques [24]

Ce schéma permet d'établir que la croissance du secteur aérien n'est pas en corrélation avec la croissance du PIB, bien qu'elle soit fortement liée, comme le montrent les schémas précédents. De 1978 à 1999, le nombre de voyageurs a augmenté de 340%, alors que le PIB n'a progressé que d'une moyenne de 2-3% par année (en considérant un taux cumulé de 3%, on arrive à une croissance du PIB de 80% en 20 ans). Ainsi des facteurs de rationalisation expliquent le très fort développement de ce secteur, par la forte baisse des tarifs en 20 ans.

10 Etude de cas : Deutsche Lufthansa AG

Après avoir envisagé de baser notre cas d'étude sur une compagnie « low cost », nous nous sommes finalement reportés sur la compagnie Lufthansa, qui fournissait la documentation la plus complète, tant au niveau des mesures de rationalisation que des contraintes sociales et environnementales. Cette étude s'appuiera particulièrement sur le rapport « Key data on sustainability at Lufthansa, 2006 » [25]. Ce document met en avant toutes les mesures prises en termes de responsabilité sociale, économique et environnementale.

Bien qu'il demeure nécessaire de garder un esprit critique sur les informations données par Lufthansa - certains faits présentés apparaissant comme propagandistes - , dans l'ensemble la compagnie a un comportement exemplaire et est à l'avant-garde pour faire face aux contraintes sociales et environnementales. Sans nous étendre sur les mesures sociales prises par la société, nous devons souligner les bonnes conditions de travail du personnel par rapport aux compagnies low-cost, en témoigne la moyenne d'âge élevée du personnel, le taux élevé de femmes dans des postes à responsabilité, les programmes de formation continue...

Les mesures environnementales prises par la société visent principalement à réduire les émissions polluantes et les nuisances sonores. Ces mesures sont appliquées par une stratégie axée sur plusieurs niveaux, qui sera présentée en détails ultérieurement. Il faut cependant insister sur le pragmatisme de la stratégie, qui privilégie une approche environnementale permettant des gains de productivité et un rationalisme économique. On peut donc parler d'une approche « win-win » : la stratégie vise la mise en place d'économies de carburant et de diverses procédures optimisées permettant de prendre un avantage compétitif sur les autres compagnies, tout en s'assurant une image favorable aux yeux du public.

10.1 Impact de la hausse du prix du kérosène sur la compagnie

A l'image de ses concurrents, Lufthansa a pu résister à la forte hausse du prix du kérosène par diverses mesures. En premier lieu, la compagnie a amélioré le taux de remplissage de ses avions. En second temps, une surtaxe carburant a été répercutée sur les passagers. Sur un plus long terme, la consommation est revue à la baisse par le renouvellement de la flotte. Ce point sera présenté en détails ultérieurement, de même que pour d'autres mesures de rationalisation. Cette hausse n'a pas eu beaucoup de répercussions sur le bénéfice de la société, qui bénéficie de la forte croissance du trafic aérien, à cause de la conjoncture favorable.

10.2 Stratégie environnementale

La stratégie de la société est axée sur 4 points :

- a) Progrès technologiques
- b) Amélioration des infrastructures
- c) Mesures opérationnelles
- d) Echange de droit d'émissions polluantes

a) Progrès technologiques

Le renouvellement de la flotte permet de réaliser des économies très importantes de carburant, largement supérieures aux gains réalisés par l'amélioration des infrastructures ou par les mesures opérationnelles. En 2005, la flotte de Lufthansa consommait en moyenne 4.39 l par passager sur 100 km (chiffres incluant aussi le personnel de bord). Il convient de préciser que de grandes disparités existent suivant le type d'avion utilisé et surtout suivant le type de liaison aérienne. Les moyens porteurs (une centaine de passagers) obsolètes comme le B-737 consomment un tiers de plus que des modèles équivalents récemment mis sur le marché.

Specific fuel consumption in passenger transport
in liters/100 passenger kilometers

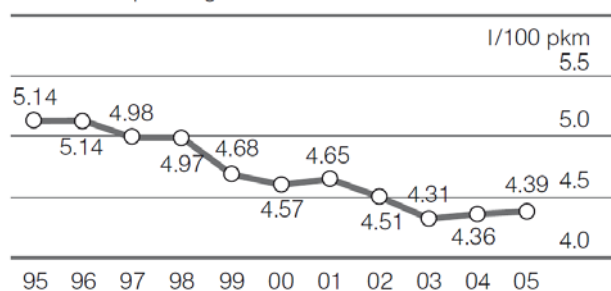


Figure 43 - Consommation par passager aux 100 km [25]

Au niveau du type de liaison, les vols régionaux sont beaucoup plus gourmands en kérosène que les vols continentaux ou intercontinentaux (moyenne de respectivement près de 9 litres contre moins de 4.5 litres). Cette surconsommation est due au profil d'un vol court-courrier, où la phase de vol en haute altitude – qui consomme peu – est négligeable par rapport aux phases de décollage et d'atterrissage, très gourmandes en carburant. Lufthansa tient compte de ce phénomène. Le groupe privilégie de ce fait les vols moyens et long-courriers et prévoit des mesures de substitution pour les vols régionaux, qui seront présentées dans le point b).

La consommation de 4.39 l par passager pour 100 km est un chiffre raisonnable au regard des moyens de transport privé (en 2005, selon l'office fédéral de l'énergie, la consommation moyenne des voitures neuves vendues en Suisse se montait à 7.67 litre par 100km parcouru). Sachant que plus de 80% des trajets en voiture sont effectués sans passagers, les flottes d'avion modernes ne méritent plus leur réputation de moyen de transport extrêmement polluant.

Specific fuel consumption by type of aircraft
Lufthansa Group fleet (active fleet in 2005)

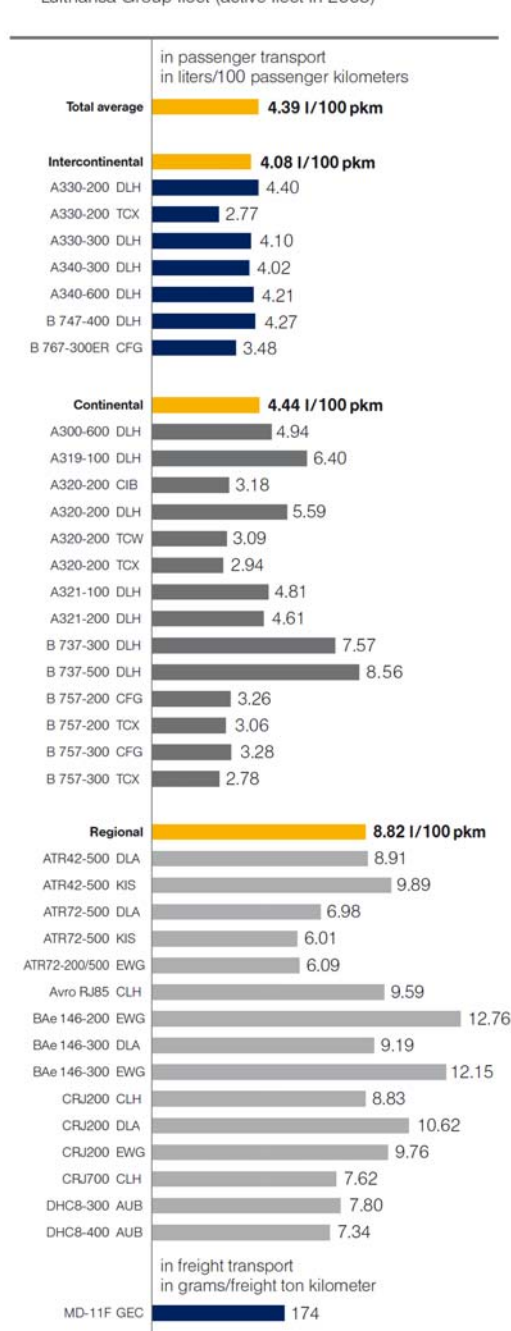


Figure 44 - Consommation des différents avions de la compagnie [25]

Par rapport à l'amélioration du rendement des moteurs à explosion, les progrès réalisés dans la conception des réacteurs et de l'aérodynamique des avions ont été considérables : en 1970, les flottes aériennes consommaient 12 litres en moyenne, et on peut s'attendre à une consommation moyenne se rapprochant des 3 litres à l'horizon 2020-2025 (l'A380 consommera par exemple 3.3 litres en moyenne) ; une consommation encore inférieure peut être envisagée, en supprimant les vols régionaux.

Decoupling of transport performance and environmental burden

Change compared with 1991 in percent, values for the fleet of the Lufthansa Group

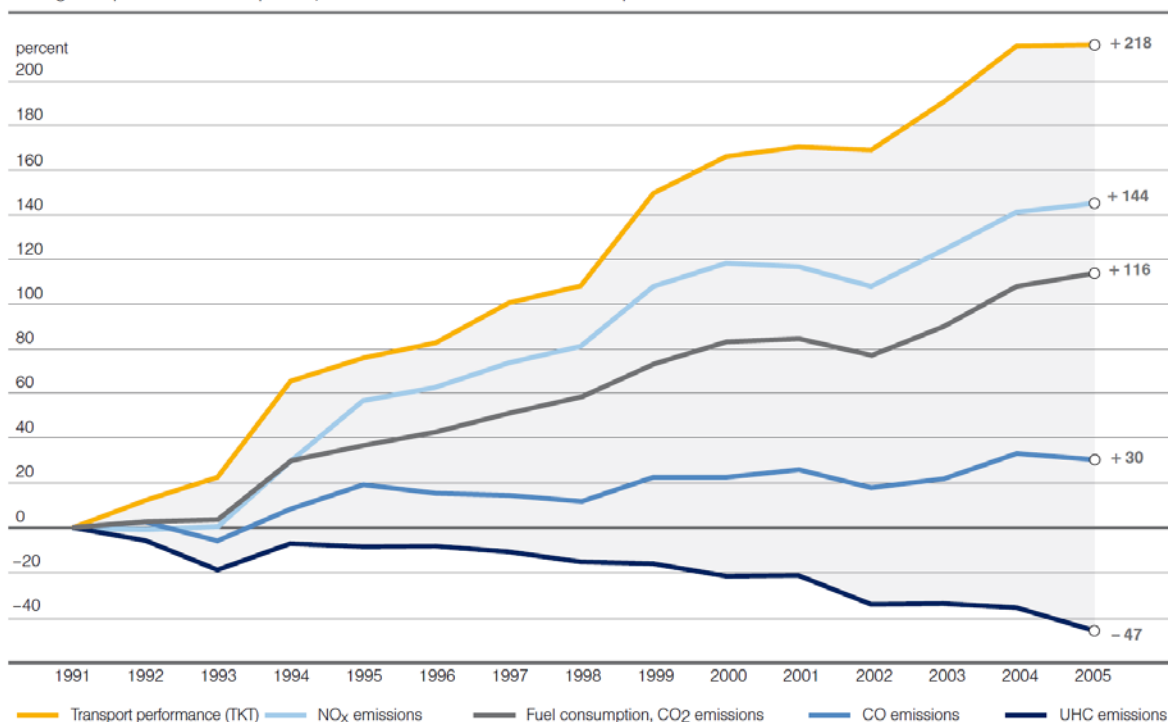
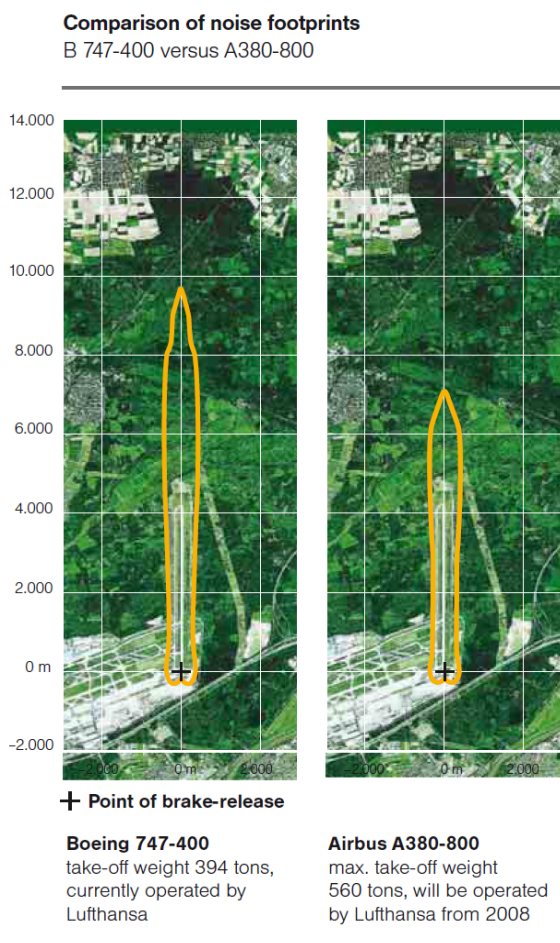


Figure 45 – Augmentation des émissions de la compagnie par rapport à sa croissance [25]

L'émission de CO₂ étant proportionnelle à la quantité de kérosène consommée, seule la diminution de consommation de carburant permet de limiter son émission, alors que d'autres types d'émissions polluantes comme l'émission de CO ou d'hydrocarbures résiduels (UHC) sont directement liés à la conception du réacteur. De ce fait, les progrès technologiques réalisés ont pu drastiquement réduire ce type d'émission.



Shown are the maximum noise footprints for one takeoff each at the take-off weight indicated. Within the respective contours, a maximum noise level of 85 dB(A) is either reached or exceeded. For comparison: A maximum noise level of 85 dB(A) is produced by a truck passing by in city traffic at a distance of 5 meters.

Figure 46 – Empreinte sonore sur un aéroport [25]

b) Améliorations des infrastructures

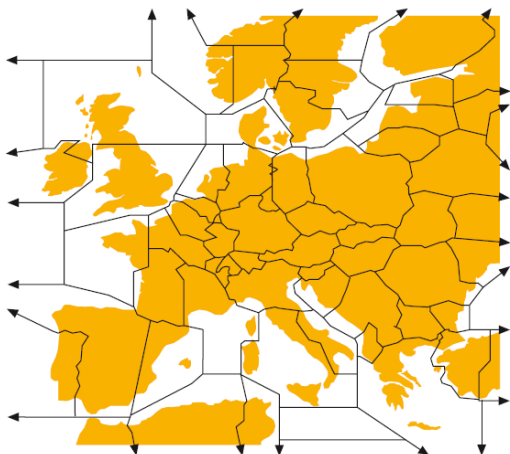
De nombreuses nuisances sont engendrées par la saturation des grands aéroports. Les retards causés par l'engorgement des pistes d'atterrissage contraignent les avions en approche à des procédures de rotation autour de l'aéroport, qui tout en étant économiquement dommageables (retard, surcoût kérosène), sont extrêmement néfastes pour l'environnement (haute consommation de kérosène et rejet de polluant à basse altitude, bruit). L'équipement des grands hubs pour recevoir l'A380 pourra réduire ce phénomène. La construction de nouvelles pistes peut être une solution, mais devient de plus en plus difficile à mettre en œuvre face à l'opposition des riverains.

Lufthansa a l'ambition de réduire sa consommation de kérosène de 38% d'ici à 2012 (par rapport aux chiffres de 1991). Cet objectif sera vraisemblablement atteint, Lufthansa ayant déjà diminué sa consommation de 29%, et planifiant le retrait des quelques appareils obsolètes encore en service (comme le B-737). L'achat de 15 A380 s'inscrit dans cette stratégie. D'autres mesures anecdotiques peuvent être citées comme le gain de poids par la mise en place de sièges de passagers allégés ...

La nécessité de réduire les émissions polluantes est accompagnée de celle de minimiser les nuisances sonores autour des aéroports. Les réacteurs développés pour l'A380 engendrent moins de nuisances que les modèles précédents, entre autres par l'augmentation du diamètre du réacteur. Les autres moyens de lutte contre ces nuisances sont liés aux procédures d'approche, présentées au point c).

Comparison air space Europe - USA

Source: Eurocontrol, 2001

**Europe (air space 10.5 million sq. km)**

- 47 air traffic control service providers (civil and military)
- 58 air traffic control centers
- 22 operating systems
- 30 programming languages
- 480 flights per air traffic controller
- 687 US\$ cost for air traffic control per flight

**USA (air space 9.8 million sq. km)**

- 1 air traffic control service provider (civil and military)
- 21 air traffic control centers
- 1 operating system
- 1 programming language
- 900 flights per air traffic controller
- 380 US\$ cost for air traffic control per flight

Fragmentation of control in European air space means higher costs, greater inefficiencies and unnecessary fuel consumption.

Figure 47 – Espaces aériens européens et américains [25]

Une autre solution est la suppression de vols court-courriers, très polluants, permettant de libérer des slots pour de nouvelles liaisons moyens et long-courriers. Dans ce sens, Lufthansa collabore avec les sociétés de gestion des aéroports et avec la Deutsche Bahn pour l'amélioration des dessertes des grands aéroports par le rail. Selon Lufthansa, des experts estiment que 20'000 vols annuels pourraient être remplacés par le train, uniquement sur l'aéroport de Frankfurt (correspond à 4% des mouvements sur l'aéroport). Cette politique paraît à prime abord dénuée de sens pour Lufthansa, qui se saborde des parts de marché face au rail. Mais après réflexion, cette stratégie est tout à fait logique à long terme. Premièrement, de nombreux vols court-courriers ne sont pas rentables pour la compagnie, et ne servent qu'à alimenter les grands hubs en voyageurs, pour remplir les liaisons internationales, hautement lucratives.

Secondement, ces vols sont très gourmands en kérosène, avec une moyenne de 9 litres au 100km par passager. Dans ce sens, les mesures environnementales à venir contraindront les compagnies à modérer leurs émissions, d'où certainement la suppression des vols court-courriers. De plus, la ponctualité des trains et leurs contraintes de sécurité limitées permettent des gains de temps aux passagers, ainsi que la diminution des retards sur les long-courriers, engendrés par l'attente des passagers en correspondance.

Cette politique s'applique aussi à la division cargo de Lufthansa.

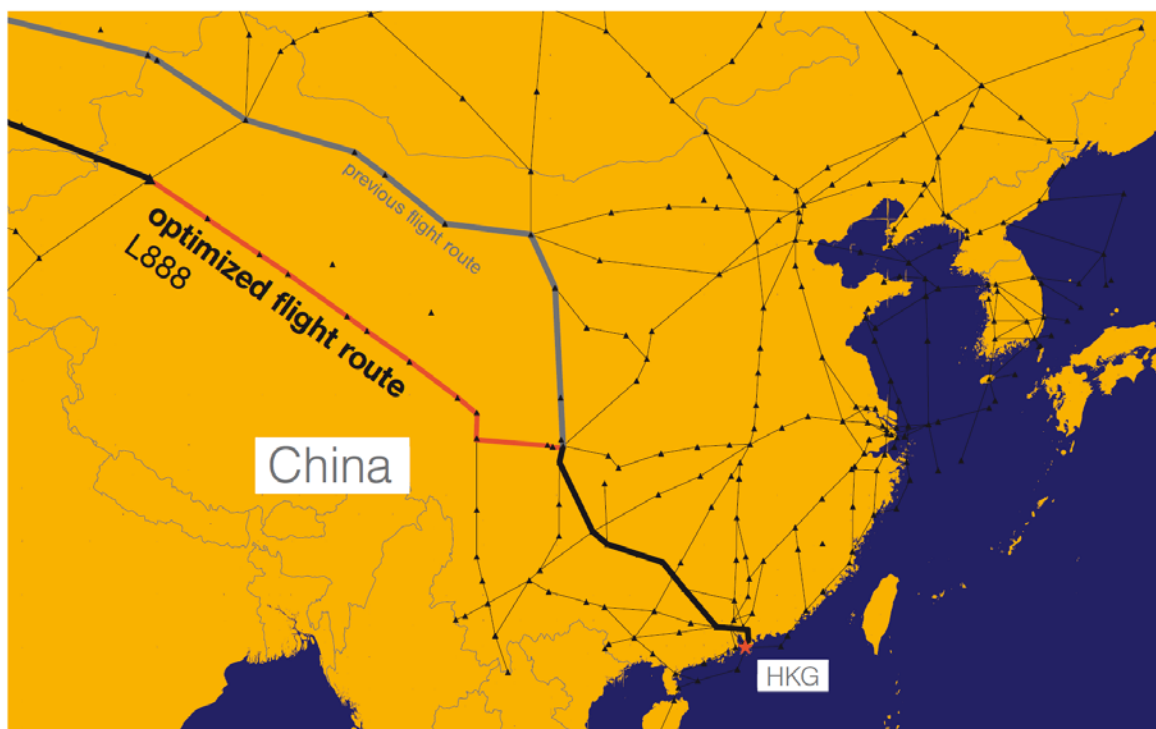
L'amélioration des infrastructures passe aussi par la modernisation du contrôle aérien. Les multiples espaces aériens européens engendrent des retards d'où un surplus de consommation de carburant. L'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) estime que de 8 à 18% de kérosène peut être économisé uniquement par l'optimisation du trafic aérien européen (nouveaux couloirs, procédures d'approches simplifiées, coordination des différents contrôles aériens, mise en place de systèmes de détection et de gestion plus performants...). Cette optimisation permettrait une économie annuelle de 2 milliards d'euro et de 10 millions de tonnes de CO₂.

c) Mesures opérationnelles

Ces mesures concernent les méthodes d'utilisation de la flotte de la compagnie. Par la mise en place de procédures d'approches des aéroports à trajectoire basse (avec flap rétracté), de légères économies de carburant sont réalisées. Ces approches sont aussi bénéfiques au niveau de la réduction des nuisances sonores. Lufthansa est pionnière dans ce domaine, en réalisant des recherches sur les procédures d'approche, en tenant compte des multiples paramètres spécifiques à chaque site. Ces recherches ont abouti à une procédure reconnue appelée « Frankfurt procedure ».

Bien entendu, la mesure opérationnelle essentielle est liée au taux d'occupation des avions. Lufthansa, à l'instar de la plupart des compagnies, est consciente de la dimension stratégique de ce point, qui permet d'énormes gains de productivité. Les compagnies traditionnelles comme Lufthansa ont suivi la politique de taux d'occupation maximal des compagnies low-cost, avec la mise en place de tarifs flexibles, d'offres dernières minutes contribuant au remplissage maximum des avions.

En troisième plan, les compagnies aériennes ont négocié de nouvelles voies aériennes et profitent des spécificités géographiques, en utilisant certains vents dominants (Jet Stream). Lufthansa présente par exemple un nouveau couloir aérien pour le vol Frankfurt-Hong Kong. La nouvelle route négociée avec les autorités chinoises permet sur ce vol une économie de kérosène non négligeable.



A more direct route to Hong Kong helps Lufthansa save not only time but also kerosene: In this way, 1,800 tons of fuel could be conserved in 2005. This corresponds to avoiding 5,670 tons of CO₂.

Figure 48 – Optimisation du couloir aérien sur Hong Kong [25]

On peut encore souligner la collaboration de la compagnie avec différents programmes scientifiques. Plusieurs appareils de la compagnie sont équipés de sondes qui mesurent les taux de polluants en haute atmosphère (projets MOZAIC, IAGOS, et CARIBIC) ou les émissions sonores (projets LEXMOS, NASGeT, FREQUENZ, LAnAb et SEFA).

d) Echanges de droit d'émissions polluantes

Lufthansa est consciente que les mesures proposées dans les points précédents sont nécessaires, mais ne seront pas suffisantes pour limiter les émissions polluantes, face au fort développement à venir pour l'aviation mondiale. La société s'attend donc à terme à des mesures financières contraignantes. En collaboration avec les autres grands groupes aériens et avec l'IATA, Lufthansa combat vigoureusement les projets européens de taxation sur le kérosène ou sur les émissions de CO₂. Elle estime que ces mesures engendreraient des « distorsions de concurrence » face aux compagnies américaines ou asiatiques ; elle soutient plutôt la possibilité pour le secteur aérien européen de rejoindre les systèmes de quotas échangeables d'émissions dans le cadre du protocole de Kyoto.

10.3 Conclusion de l'étude de cas

Ce document reflète bien la position de la compagnie face aux défis économiques et climatiques actuels. Lufthansa peut être considérée comme un acteur majeur du transport aérien européen et mondial. On perçoit la volonté d'agir avec responsabilité, tant au niveau social qu'environnemental. Cependant, la plupart des mesures prises ou à venir répondent aussi à des impératifs économiques qui ne peuvent pas être négligés. En témoigne, la position tranchée au niveau de la menace de taxes sur le kérosène. Bien que les compagnies aériennes soient privilégiées par rapport aux autres modes de transport (le carburant pour les véhicules terrestres ou pour les bateaux sont déjà fortement taxés), on peut comprendre leur position. De nombreuses compagnies aériennes ont été ébranlées par le choc de 2001 et par la féroce concurrence qui a conduit à une surcapacité du secteur. Dans ce sens, la mise en place brutale de taxes élevées sur le kérosène pourrait conduire à la disparition rapide de plusieurs acteurs majeurs du transport aérien. Lufthansa souligne l'importance économique de la branche, assurant directement ou indirectement 28 millions d'emplois dans le monde, dont 7.5 millions en Europe. Indirectement, son rôle économique est majeur et indispensable à la demande croissante de mobilité des personnes et des marchandises.

La société insiste aussi sur le fait que les émissions de CO₂ relatives au transport aérien ne représentent que 3% des émissions mondiales. En Europe, les émissions de CO₂ liées au secteur des transports représentent 21% des émissions totales, dont 92% est attribuable au trafic routier. Néanmoins, le secteur aérien européen est dans le collimateur de la commission européenne, car les prévisions de croissance d'émissions de CO₂ par l'aviation civile sont très élevées (plus 37% à terme). Sans naïveté, les acteurs majeurs du transport aérien européen, dont Lufthansa fait partie, constate pertinemment que des mesures d'accompagnement seront prises pour cette industrie. De fait, les campagnes de lobbying ont déjà commencé, en témoigne le document « Key data on sustainability at Lufthansa, 2006 » sur lequel est basé notre étude de cas. Ce genre de rapport n'avait pas été réalisé lors des années précédentes et fait partie de la stratégie de communication et d'image du groupe. Les grandes compagnies européennes luttent contre la possible taxation du kérosène, et privilégient dans un premier temps des mesures volontaires non contraignantes (comme actuellement l'industrie automobile européenne). A terme, la ratification du protocole de Kyoto pour le secteur aérien leur paraît acceptable, largement préférable à de nouvelles taxes.

Comparison of CO₂ emissions per year:	
Total CO₂ emissions (2002)	
Worldwide:	approx. 25,700 million tons
Europe:	approx. 5,000 million tons
CO₂ emissions in civil aviation (2004)*	
Total worldwide air transport:	approx. 607 million tons
All flights taking off in Europe:	approx. 130 million tons
All flights within the EU:	approx. 52 million tons

* Source: "Giving wings to emissions trading," Report for the European Commission, DG Environment, July 2005

Figure 49 - CO₂ émis par l'aviation par rapport au rejet mondial [25]

11 Références et Bibliographie

-
- [1] AIRBUS INDUSTRIES, « *Global Market Forecast, The future of flying 2006-2025* », 2006, document pdf
- [2] IATA, BRIAN PEARCE, New Financial Forecast, « *Profitability improvement stalling* » December 2006, document pdf
- [3] IATA, MARK SMYTH, Economics briefing, « *Profitability : Does size matter ?* », June 2006, document pdf
- [4] ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (ÉTATS-UNIS)
http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm
- [5] ENERGY CHALLENGES FACING US AIRLINES,
<http://www.airlines.org/economics/energy/fuel+QA.htm>
- [6] AIRLINE FUEL SURCHARGE CHART, <http://www.globaltravel.com.sg/airline-fuel.php>
- [7] EASYJET ANNUAL REPORT 2005 <http://www.easyjet.com>
- [8] MINISTRE DES FINANCES DU GOUVERNEMENT DU CANADA, Gillen, Morrison, Stewart., « *Élasticités de la demande de transport aérien de passagers : concepts, problèmes et mesure* ». 2002. http://www.fin.gc.ca/consultresp/Airtravel/airtravStdy_e.html
- [9] ENERGY TRANSPORT FORUM , 2004,
http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/forum/works/doc/2004_10_12_impact_jet_fuel_prices.pdf
- [10] BLANCO, C. et al. « *Airlines Hedging Strategies: The Shareholder Value Perspective* », 2005 *Commodities Now*, <http://www.commodities-now.com/content/issues-brief/cn-june-2005.php>
- [11] SOUTHWEST AIRLINES, Investor Relations, « *Annual Report 2006* », document pdf
- [12] MICROECONOMICS – INCOME ELASTICITY OF DEMAND,
<http://www.tutor2u.net/economics/revision-notes/as-markets-income-elasticity-of-demand.html>
- [13] IATA, BRIAN PEARCE, Economics Briefing, « *Air travel for the rich or mass transportation?* », 30th June 2005
- [14] BOEING COMPANY, «*Point to point*», June 2006, Vol. 1
- [15] MIT, techtalk serving the MIT community, volume 51, number 8, November 2006, document pdf
- [16] RAPPORT SPECIAL DU GIEC, « *L'aviation et l'atmosphère planétaire* », groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 1999. , document pdf

-
- [17] UNITED STATES GENERAL ACCOUNTING OFFICE, « *Aviation and the environment* », February 2000
- [18] UNIQUE (FLUGHAFEN ZÜRICH AG), « *Emission charges zurich airport, review 2003* », Septembre 2003, document pdf
- [19] FRAPORT AG, « *Noise Abatement* », 2006, <http://www.fraport.de> , document pdf
- [20] EU ETS CO2 trading scheme, <http://www.pointcarbon.org>
- [21] Commission Européenne, « *L'action de l'UE pour lutter contre le changement climatique* », Septembre 2005 , document pdf
- [22] IATA, MARK SMYTH & BRIAN PEARCE, « *Economics Briefing, Aviation Taxes and Charges* », November 2005
- [23] CORDIS, « *Cost 318 - Interactions Between High-speed Rail and Air Passenger Transport* », 1998, <http://cordis.europa.eu/cost-transport/src/cost-318.htm>
- [24] « *Statistical information on air passenger numbers and characteristics* », <http://www.parliament.uk/post/e3.pdf>
- [25] DEUTSCHE LUFTHANSA AG, Balance, « *Key data on sustainability at Lufthansa* », 2006

Bibliographie

- BESANKO, DAVID. « *Microeconomics : an integrated approach* ». Wiley, 2001.
- Air traffic forecasts for the United Kingdom, 2000. <http://www.dft.gov.uk>.
- BRONS MARTIJN, ERIC PELS, PETER NIJKAMP AND PIET RIETVELA, « *Price Elasticities of Demand for Passenger Air Travel: A Meta-Analysis* », Tinbergen Institute, Amsterdam, 2001.
- DANIEL ECKERHALL, « *the Possibility and Effects of Including the Transport Sector in the EU Emission Trading Scheme* », June 2005.
- CEES VAN BEER, « *Environmental impact of indirect subsidies, Development and application of a policy, oriented method* », December 2002.
- FREDRIK CARLSSON, « *Environmental charges in airline markets* », 2002, document pdf.

Federal Aviation Administration Office of Environment and Energy, January 2005.

CHERIE LU & PETER MORRELL, «*Determination and applications of environmental costs at different sized airports – aircraft noise and engine emissions* », *Transportation – Amsterdam, 2006, VOL 33; NUMBER 1, pages 45-61* , document pdf.

UNITED STATES GENERAL ACCOUNTING OFFICE, « *Aviation and Environnement* », February 2000, document pdf.

EUROPEAN CIVIL AVIATION CONFERENCE, «*Recommandation ECAC/24-1 noise charges and rebates* », document pdf.

ANDRE PEYRAT-ARMANDY, «*Les avions de transports modernes et du futurs* », Teknea, Toulouse, juin 1997.

PHILIPPE ROTH, «*Analyse prospective du développement de la desserte aérienne des aéroports non-hubs* », Lausanne 2000, These 2566.

AIRBUS INDUSTRIES, «*The annual review 2005*», document pdf

THE BOEING COMPANY, «*2001 Annual report*», document pdf

www.fraport.de

www.iata.org

www.airbus.com

www.boeing.com