



**Académie de  
l'Air et de l'Espace**  
Air and Space Academy

## **Le transport aérien face au défi énergétique**

**Conclusions et recommandations**

## *Air Transport and the Energy Challenge*

*Conclusions and recommendations*



# **Le transport aérien face au défi énergétique**

**Conclusions et recommandations**

## ***Air Transport and the Energy Challenge***

***Conclusions and recommendations***

Dossier n° 29



**Académie de  
l'Air et de l'Espace**  
Air and Space Academy

2007

**© Académie de l'Air et de l'Espace, 2007**  
**Tous droits réservés / *All rights reserved***

ISBN 2-913331-37-8  
ISSN 1147-3657

## **Dossiers déjà parus / Past dossiers:**

- n° 1 Les Équipements aérospatiaux civils, 1989
- n° 2 La Formation des jeunes pilotes de l'aviation civile de transport, 1991  
*The Training of Young Pilots in Commercial Aviation, 1991*
- n° 3 L'Avion de transport à haute vitesse, 1991  
*Future High Speed Air Transportation System, 1991*
- n° 4 Principes de déontologie applicables aux pilotes professionnels, 1991  
*Principles of Ethics applicable to Professional Pilots, 1991*
- n° 5 Le Contrôle de la circulation aérienne / *Air Traffic Control*, 1992
- n° 6 Les Apports de la conquête spatiale à l'humanité, 1992
- n° 7 La Sécurité de l'aviation légère / *Safety in Light Aviation*, 1994
- n° 8 Principes de déontologie applicables aux pilotes privés et aux sportifs aériens, 1994  
*Principles of Ethics applicable to Private and Aerobatics Pilots, 1994*
- n° 9 L'Avenir de l'aviation de transport de fret, 1994  
*The Future of Air Freight Transport, 1994*
- n° 10 Les Études et recherches dans le domaine aérospatial face à la compétition internationale, 1995
- n° 11 Le Retour d'expérience dans l'aviation civile de transport, 1996  
*Feedback from Experience in Civil Transport Aviation, 1996*
- n° 12 Évolution des industries aérospatiales, 1998
- n° 13 Impact des avions et des lanceurs spatiaux sur l'environnement atmosphérique et le climat, 1998  
*Impact of Aircraft and Space Launchers on the Atmosphere and the Climate, 1998*
- n° 14 Assistance médicale aux passagers aériens, 1998  
*Medical Assistance to Aircraft Passengers, 1998*
- n° 15 Médias et sécurité dans le transport aérien, 2000  
*Media and Safety in Air Transport, 2000*
- n° 16 Horizon 2020, Société humaine et activités aérospatiales, 2000
- n° 17 La Formation des ingénieurs au XXI<sup>ème</sup> siècle, 2002
- n° 18 La Gestion de la circulation aérienne en Europe, 2002  
*Air Traffic Management in Europe, 2002*
- n° 19 L'Avion de transport supersonique, 2002
- n° 20 Formation des pilotes / *Pilot Training*, 2002
- n° 21 Retour d'expérience dans l'aviation civile, 2003  
*Feedback from Experience in Civil Aviation, 2003*
- n° 22 L'Europe et les débris spatiaux / *Europe and Space Debris*, 2003
- n° 23 La Menace balistique : quelle politique pour la France et l'Europe ?, 2004  
*The Ballistic Threat: What should be the policy of France and Europe?, 2004*
- n° 24 L'Impact du trafic aérien sur l'environnement, 2004  
*Impact of Aviation on the Environment, 2004*
- n° 25 La Révolution des drones / *The UAV Revolution*, 2005
- n° 26 Compagnies de transport aérien à bas prix / *Low-fare airlines*, 2006
- n° 27 L'Europe de l'Espace ; enjeux et perspectives / *Space; a European vision*, 2006
- n° 28 La sécurité des compagnies aériennes / *Airline Safety*, 2007

# – CONTENTS –

<b>Foreword</b> .....	6
<b>Introduction</b> .....	8
<b>1- THE FUEL ISSUE</b> .....	10
<b>1.1 Energy consumption in the 21<sup>st</sup> century</b> .....	10
1.1.1 - Evolution in world consumption	
1.1.2 - Energy sources	
1.1.3 - Classification of energy sources	
<b>1.2 Air transport energy requirements</b> .....	14
1.2.1 - Energy needs for transport in general	
1.2.2 - Availability of oil kerosene for aeronautics	
<b>1.3 Substitute fuels</b> .....	18
1.3.1 - Possible choices	
1.3.2 - Suitability for aeronautics	
<b>1.4 Increasing price of energy resources</b> .....	24
<b>2- IMPACT ON AIR TRANSPORT OF MORE EXPENSIVE FUEL</b> .....	28
<b>3- IMPROVED AIRCRAFT EFFICIENCY</b> .....	34
<b>3.1 Impact of technology</b> .....	36
3.1.1 - Improvements in propulsion	
3.1.2 - Improvements to the airframe	
3.1.3 - Overall improvements to aircraft	
<b>3.2 Impact of mission profile</b> .....	38
3.2.1 - Impact of operating range	
3.2.2 - Impact of capacity	
3.2.3 - Impact of cruising speed	
3.2.4 - Impact of comfort	
3.2.5 - Total impact	
<b>3.3 Impact of operation</b> .....	42
<b>3.4 Impact of flight management</b> .....	44
3.4.1 - En-route navigation	
3.4.2 - Airport operations	
<b>4- NEW CONCEPTS</b> .....	46
<b>4.1 Fast propeller-powered aircraft</b> .....	46
<b>4.2 Liquid hydrogen-powered aircraft</b> .....	46
<b>5- CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS</b> .....	48
Appendices : Presentation and Publications of the Air and Space Academy .....	52

# - TABLE DES MATIÈRES -

<b>Avant-propos</b> .....	7
<b>Introduction</b> .....	9
<b>1- LA PROBLÉMATIQUE DU CARBURANT</b> .....	11
<b>1.1 La consommation énergétique au XXI<sup>e</sup> siècle</b> .....	11
1.1.1 - <i>L'évolution historique de la consommation mondiale</i>	
1.1.2 - <i>Les sources d'énergie</i>	
1.1.3 - <i>Le classement des sources énergétiques</i>	
<b>1.2 Les besoins du transport aérien</b> .....	15
1.2.1 - <i>Les besoins énergétiques des transports</i>	
1.2.2 - <i>Les disponibilités de kérosène de pétrole pour l'aéronautique</i>	
<b>1.3 Les combustibles de substitution</b> .....	19
1.3.1 - <i>Les choix possibles</i>	
1.3.2 - <i>L'adaptation</i>	
<b>1.4 Le renchérissement de la ressource énergétique</b> .....	25
<b>2- IMPACT DE L'AUGMENTATION DU COÛT DU CARBURANT SUR LE TRANSPORT AÉRIEN</b> .....	29
<b>3- AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ DE L'AVION</b> .....	35
<b>3.1 Impact de la technologie</b> .....	37
3.1.1 - <i>Amélioration de la propulsion</i>	
3.1.2 - <i>Amélioration de la cellule</i>	
3.1.3 - <i>Amélioration globale de l'avion</i>	
<b>3.2 Impact du profil de la mission</b> .....	39
3.2.1 - <i>Impact du rayon d'action</i>	
3.2.2 - <i>Impact de la capacité</i>	
3.2.3 - <i>Impact de la vitesse de croisière</i>	
3.2.4 - <i>Impact du confort</i>	
3.2.5 - <i>Impact global</i>	
<b>3.3 Impact de l'exploitation</b> .....	43
<b>3.4 Impact de la gestion de la navigation</b> .....	45
3.4.1 - <i>La navigation en vol</i>	
3.4.2 - <i>Les opérations aéroportuaires</i>	
<b>4- NOUVEAUX CONCEPTS</b> .....	47
<b>4.1 Avion à hélices rapides</b> .....	47
<b>4.2 Avion à hydrogène liquide</b> .....	47
<b>5- CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS</b> .....	49
<i>Annexes : Présentation de l'Académie et Liste de publications</i> .....	52

# FOREWORD

*The Air and Space Academy, in collaboration with the Association Aéronautique et Astronautique de France and the Académie des Technologies, held an international conference in Toulouse on 30<sup>th</sup> November and 1<sup>st</sup> December 2006 on the effect of rising energy prices on the development of air transport. As one element in a cycle of studies undertaken by the Academy on the general topic of air transport and its environment, the aim of this colloquium was to take stock of the growing shortage and rising price of oil and to gauge the impact on air transport, product design and the future of civil aircraft manufacturing.*

*A progressive decline in world oil production, following a peak around 2010-2030, will indeed result in an oil shortage and rising prices in the near future. Moreover, taxes on carbon emissions, designed to limit climate change, might well push costs up even further. The future development of air transport will be radically affected, firstly due to the impact of higher prices on traffic and secondly to the consequences of the oil shortage. Effects will be felt all the more acutely since for the moment no alternative is available to the use of kerosene produced from oil or synthetically.*

*The issue is closely linked to crucial environmental concerns which underlay all talks, although for reasons of efficiency and to avoid overrunning, it was decided to focus the colloquium specifically on the energy challenge.*

*The present dossier aims to provide an overview of talks, give the speakers' main conclusions and formulate further recommendations.*

Georges VILLE

President of the Academy



# AVANT-PROPOS

L'Académie de l'Air et de l'Espace, en collaboration avec l'Association Aéronautique et Astronautique de France et l'Académie des technologies, a organisé à Toulouse les 30 novembre et 1er décembre 2006, un colloque international sur le développement du transport aérien confronté au renchérissement de l'énergie. Prenant place dans le cycle des études menées par l'Académie sur le thème général du transport aérien et de son environnement, ce colloque était destiné à faire le point sur la raréfaction et le renchérissement du pétrole et d'en mesurer les conséquences sur le transport aérien, sur la conception du produit et sur l'avenir de la construction aéronautique civile.

En effet, le déclin progressif de la production pétrolière mondiale à partir d'un "pic" envisagé entre 2010 et 2030 entraînera dans un avenir proche une raréfaction et un renchérissement du pétrole ; cette hausse du prix risque d'être amplifiée par la mise en place de taxes ou droits à polluer associés aux émissions de carbone. De telles évolutions affecteront profondément le développement du transport aérien, dans un premier temps par l'impact du renchérissement sur le trafic et ultérieurement par les effets de pénurie ; ces effets apparaissent d'autant plus importants qu'il n'existe aujourd'hui aucune alternative à l'utilisation du kérosène produit à partir du pétrole ou obtenu par synthèse.

Le sujet traité touche de très près les questions cruciales d'environnement et celles-ci sont présentes tout au long des exposés ; pour des raisons d'efficacité et éviter de longs débordements, l'objet du colloque a été volontairement centré sur le défi énergétique.

Le présent dossier de l'Académie constitue une synthèse des exposés, en reprend les principales conclusions et présente ses propres recommandations sur le sujet.

Georges VILLE  
*Président de l'Académie*

# **AIR TRANSPORT AND THE ENERGY CHALLENGE**

**Conclusions and recommendations following a conference organised on 30 November and 1 December 2006 in Toulouse, France**

## **INTRODUCTION**

*The present dossier addresses the following points in the form of questions that roughly reflect the colloquium schedule:*

- 1 - What problems does the fuel issue raise for air transport?*
- 2 - Is it possible to estimate the impact of rising fuel prices on the development of air transport?*
- 3 - How can the operational efficiency of current aircraft be improved?*
- 4 - Are any new concepts emerging that would help meet tomorrow's needs?*
- 5 - What conclusions and recommendations were generated by this wide-ranging confrontation between technical, operational, ecological and economic points of view?*

\*

\* \*

# LE TRANSPORT AÉRIEN FACE AU DÉFI ÉNERGÉTIQUE

*Conclusions et recommandations à la suite du colloque organisé les  
30 novembre et 1<sup>er</sup> décembre 2006 à Toulouse*

## INTRODUCTION

Le présent dossier est structuré autour des points suivants libellés sous la forme de questions qui suivent un ordonnancement proche de celui retenu pour le colloque :

- 1 - Comment se pose pour le transport aérien la problématique du carburant ?
- 2 - Peut-on estimer l'impact de l'augmentation du coût du carburant sur le développement du transport aérien ?
- 3 - Comment améliorer l'efficacité opérationnelle de l'avion actuel ?
- 4 - Existe-t-il des concepts nouveaux répondant aux exigences de demain ?
- 5 - Quelles conclusions et quelles recommandations peut-on proposer à la suite de cette large confrontation entre les points de vue techniques, opérationnels, écologiques et économiques ?

\*

\* \*

## 1- THE FUEL ISSUE

### 1.1 - Energy consumption in the 21<sup>st</sup> century<sup>1</sup>

#### 1.1.1 - Evolution in world consumption

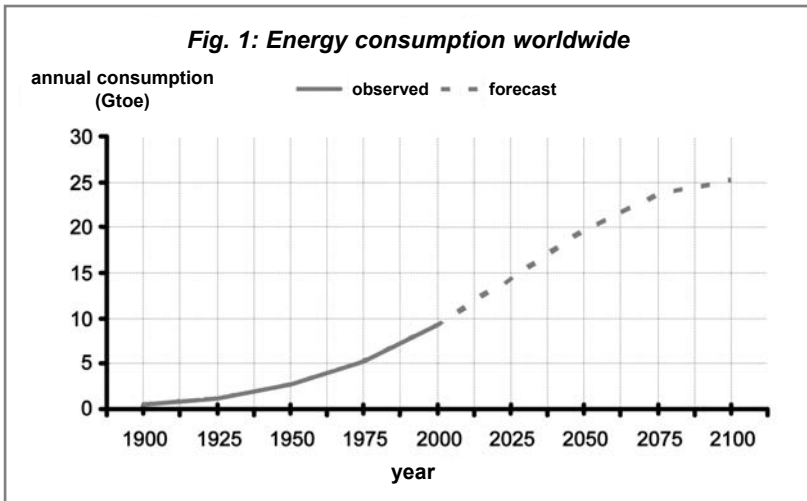
Figure 1, based on hypotheses put forward by Pierre-René Bauquis (professor at IFP School), shows how the situation evolved in the course of the 20<sup>th</sup> century and forecasts figures for the 21<sup>st</sup> century corresponding to an annual increase in energy consumption:

- of 4% in 1900 and 2% in 2000 (fact),
- dropping from 2% in 2000 to 0% by 2100 (estimate).

Since oil is the most widespread source of energy today, consumption is often measured in terms of “Gtoe”, i.e. “Giga (10<sup>9</sup>) tonnes oil equivalent”:

$$1 \text{ toe} = 7.3 \text{ barrels} = 41.8 * 10^9 \text{ joules} = 11,600 \text{ kWh}$$

This was the unit used in this presentation.



#### 1.1.2 - Energy sources<sup>2</sup>

The various sources of energy are classified according to their origin (all figures are taken from Pierre-René Bauquis’s exposé):

- **in 2000, fossil fuels** represented more than 86% of world consumption: 40% oil, 22% gas and 24% coal. Given the growing

1. Information taken from the presentations of Gilbert Ruelle (Académie des technologies) and Pierre-René Bauquis

2. Information taken from Pierre-René Bauquis’s presentation

# 1- LA PROBLÉMATIQUE DU CARBURANT

## 1.1 - La consommation énergétique au XXI<sup>e</sup> siècle<sup>1</sup>

### 1.1.1 - L'évolution historique de la consommation mondiale

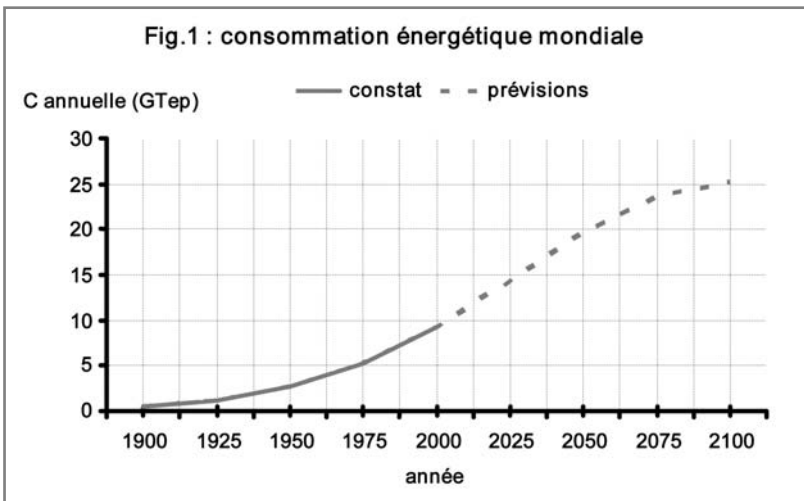
La figure 1 montre, à partir des hypothèses proposées dans l'exposé de Pierre-René Bauquis (professeur à l'ENSPM ou IFP School), l'évolution au cours du XX<sup>e</sup> siècle et la projection attendue pour le XXI<sup>e</sup> siècle ; celles-ci correspondent à un taux de croissance annuelle de la consommation énergétique :

- de 4% en 1900 et de 2% en 2000 (constat) ;
- en réduction de 2% en 2000 à 0% en 2100 (prévisionnel).

Le pétrole étant l'énergie la plus utilisée aujourd'hui, la mesure de la consommation énergétique est souvent exprimée en "GTep", c'est-à-dire Giga (10<sup>9</sup>) Tonnes équivalent pétrole :

$$1 \text{ Tep} = 7,3 \text{ barils} = 41,8 * 10^9 \text{ Joules} = 11.600 \text{ kWh}$$

C'est cette unité qui a été retenue dans la présentation de cet exposé.



### 1.1.2 - Les sources d'énergie<sup>2</sup>

Les diverses sources d'énergie sont classées selon leur origine (tous les chiffres indiqués sont extraits de l'exposé de Pierre-René Bauquis) :

- **les énergies fossiles** représentent en 2000 plus de 86% de la consommation mondiale : 40% pour le pétrole, 22% pour le gaz et 24%

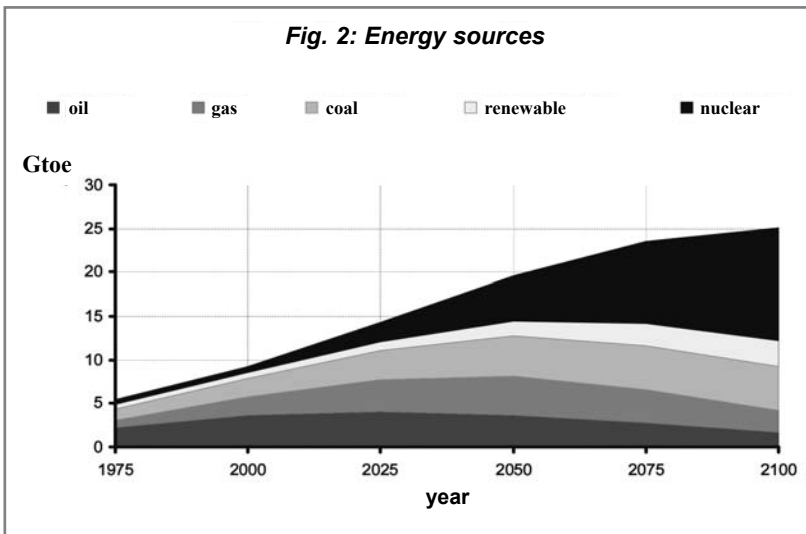
1. Les informations présentées sont extraites des exposés de Gilbert Ruelle (Académie des technologies) et de Pierre-René Bauquis

2. Exposé de Pierre-René Bauquis

scarcity of these resources, this percentage will decrease in the future to cover only 35% of needs by the late 21<sup>st</sup> century: 6% oil, 9% gas and 20% coal;

- **renewable energies in 2000** accounted for a total of 7% and their share should reach 13% by the end of the 21<sup>st</sup> century (corresponding to a quadrupling in volume); two thirds from electricity producers (wind, hydro and solar power) and the remainder from biofuels and geothermics;
- **nuclear energy** covered 7% of requirements in 2000; in the future it will be the only way of satisfying the growing demand for energy, given the rarefaction of fossil fuels and the limited scope of renewable energies: nuclear power should thus **represent 52% by the end of the 21<sup>st</sup> century**.

Figure 2 clearly illustrates the evolution of the various sources and the rise of nuclear power to satisfy growing needs.



### 1.1.3 - Classification of energy sources<sup>3</sup>

*Which criteria must be considered in the choice of energy sources?*

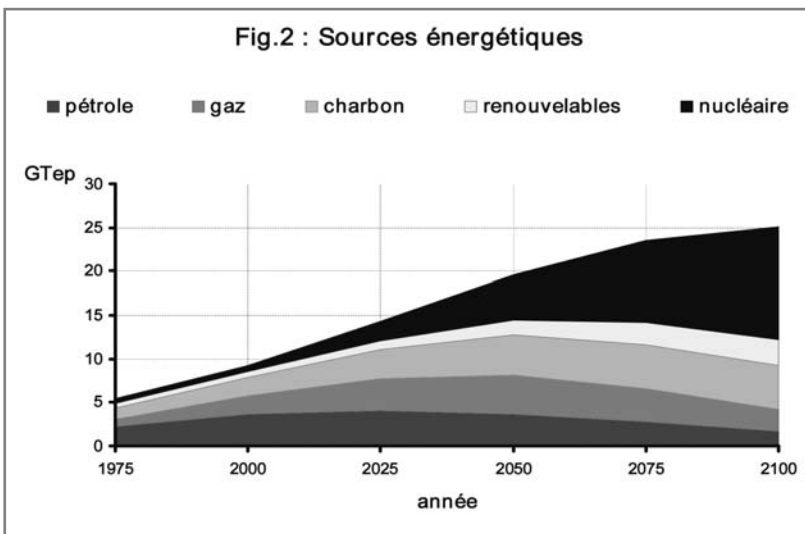
- capacity to meet growing needs;
- low environmental impact, particularly in terms of greenhouse gas emissions (CO<sub>2</sub>);
- price;
- reliability in terms of supply (geopolitical risks);
- respect for public health.

3. Gilbert Ruelle (source ECEE : European Commission Extern E project)

pour le charbon ; compte tenu de l'épuisement progressif des ressources, cette contribution diminuera dans l'avenir pour ne couvrir plus que 35% des besoins à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle : 6% pour le pétrole, 9% pour le gaz et 20% pour le charbon ;

- **les énergies renouvelables** participe à hauteur de 7% en 2000 et leur part devrait croître pour atteindre 13% à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle (ce qui correspond à un quadruplement en volume) ; les deux tiers proviennent de la filière électrique (hydraulique, éolien et solaire), le reste correspond aux biocarburants et à la géothermie ;
- **l'énergie nucléaire** couvre 7% des besoins en 2000 ; pour l'avenir, c'est la seule voie permettant de satisfaire la croissance de la demande énergétique compte tenu de la raréfaction des énergies fossiles et de l'amplitude limitée des énergies renouvelables : **la part du nucléaire atteindrait ainsi 52% à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle.**

Le graphique présenté en figure 2 souligne bien les perspectives d'évolution des différentes sources et la montée du nucléaire pour satisfaire la croissance des besoins.



### 1.1.3 - Le classement des sources énergétiques<sup>3</sup>

Quels sont les critères à prendre en compte dans le choix des sources d'énergie ?

- leur capacité à répondre au volume croissant des besoins ;
- un faible impact environnemental, en particulier pour les émissions de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>) ;
- une énergie bon marché ;

3. Exposé de Gilbert Ruelle (source ECEE : European Commission Extern E project)

The table below, based on Gilbert Ruelle’s lecture (drawn from EU documentation), situates each energy in terms of these criteria with a view to its use in the 21<sup>st</sup> century. Risk levels regarding impact on health and the environment (CO<sub>2</sub> emission) are established on the basis of a “coal” reference (set at 1).

	availability	CO <sub>2</sub>	cost	geopolitical risk	impact on health
<b>Fossil fuels</b>					
• oil	scarce	0.85	growing	very high	0.57
• gas	scarce	0.46	growing	high	0.24
• coal	abundant	1.00	moderate	medium	1.00
<b>Renewable fuels</b>					
• hydropower	limited		low	low	
• biofuel	limited		high	low	
• wind	low		high	low	
• geothermic	low		high	low	
<b>Nuclear energy</b>	high		low	low	0.04

It is clear from this table that coal, although an abundant source of energy for several centuries, nevertheless suffers from a strong environmental handicap in terms of greenhouse gas emissions; widespread use of coal would require collecting and storing the CO<sub>2</sub> produced: but what would be the cost of such an operation? This is one of the main areas of uncertainty clouding future estimates.

On the other hand, nuclear energy scores well in terms of all these criteria. The problem of radioactive waste disposal must, however, be solved and public support won over.

## 1.2 - Air transport energy requirements<sup>4</sup>

### 1.2.1 - Energy needs for transport in general<sup>5</sup>

Figure 3 plots the evolution in energy needs for the transport sector in the 21<sup>st</sup> century as an extrapolation of trends observed in the 20<sup>th</sup> century. This “theoretical” presentation is based on the assumption that there will be no sudden turnaround in the development of these activities, no major crises in the economic or political fields, no energy shortage or extreme increase in energy prices. The impact of deviations from this simplistic scenario will be analysed below.

4. Information taken from the talks of Pierre-René Bauquis (IFP) and Tomas Vanicek (Total)

5. Presentation of Pierre-René Bauquis (and Georges Ville for the part linked to air transport)



- une sécurité d’approvisionnement (risque géopolitique) ;
- le respect de la santé publique.

Le tableau ci-dessous, établi à partir de l’exposé de Gilbert Ruelle (sur la base d’une documentation de l’UE), permet de positionner chacune des énergies par rapport à ces différents critères en vue de leur utilisation au XXI<sup>e</sup> siècle ; pour les impacts sur l’environnement (émission de CO<sub>2</sub>) et sur la santé, les niveaux de risques sont rapportés à une référence “charbon” (niveau 1).

	disponibilité	CO <sub>2</sub>	coût	risque géopolitique	impact sur la santé
<b>Fossiles</b>					
• pétrole	raréfiée	0,85	croissant	très élevé	0,57
• gaz	raréfiée	0,46	croissant	élevé	0,24
• charbon	abondante	1,00	modéré	moyen	1,00
<b>Renouvelables</b>					
• hydraulique	plafonnée		faible	faible	
• biocarburants	plafonnée		élevé	faible	
• éolien	faible		élevé	faible	
• géothermie	faible		élevé	faible	
<b>Nucléaire</b>	forte		faible	faible	0,04

Au vu de ce tableau, il apparaît que **le charbon, bien que constituant une ressource abondante pour plusieurs siècles, souffre d’un fort handicap sur le plan environnemental au niveau des émissions de gaz à effet de serre ; son utilisation à plus grande échelle exigera une captation et un stockage du CO<sub>2</sub> produit : à quel coût ? C’est à ce niveau que se trouve une des principales incertitudes des projections dans l’avenir.**

**En revanche, l’énergie nucléaire se trouve bien positionnée par rapport à tous ces critères ; il lui reste toutefois à résoudre le problème de l’élimination des déchets radioactifs et à se faire accepter au niveau de l’opinion publique.**

## 1.2 - Les besoins du transport aérien<sup>4</sup>

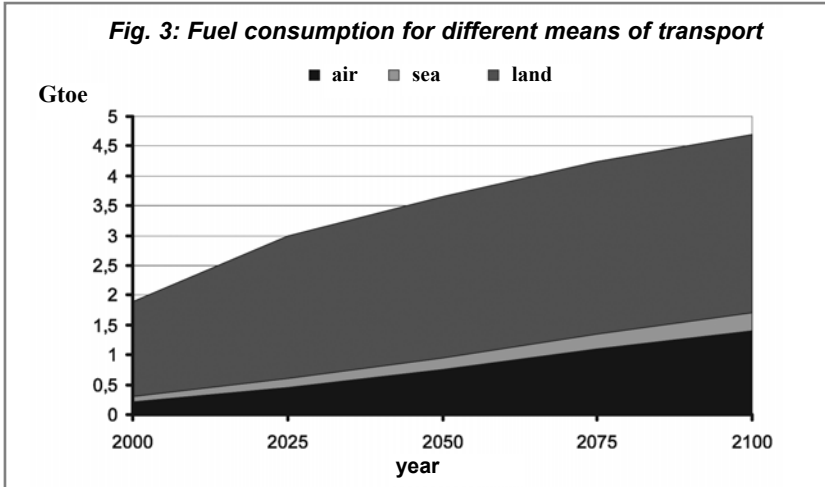
### 1.2.1 - Les besoins énergétiques des transports<sup>5</sup>

La figure 3 présente l’évolution des besoins énergétiques pour le secteur du transport au XXI<sup>e</sup> siècle en prolongement des tendances constatées au XX<sup>e</sup> siècle. Une telle présentation “théorique” suppose qu’il n’y ait pas de rupture dans le développement de ces activités : crises majeures dans les domaines économiques ou politiques, pénurie énergétique ou renchérissement extrême de l’énergie ; l’impact des dérives par rapport à ce scénario simpliste sera analysé plus loin.

4. Les informations sont extraites des exposés de Pierre-René Bauquis (IFP) et de Tomas Vanicek (Total)

5. Exposé de Pierre-René Bauquis (complété par Georges Ville pour la part liée au transport aérien)

*During the period in question, transport will continue to represent around 20% of total energy consumption but, because of air transport's more rapid expansion and the difficulty of finding a credible alternative to it, its share would rise significantly, increasing from 2% to 6% of world energy consumption in the course of the century (and from 10 to 30% of energy requirements for the transportation sector).*



### 1.2.2 - Availability of oil kerosene for aeronautics<sup>6</sup>

*Kerosene (an inappropriate designation in the eyes of oil producers, who prefer to use the term “jet fuel”) differs from other fuels such as petrol and diesel in the following respects:*

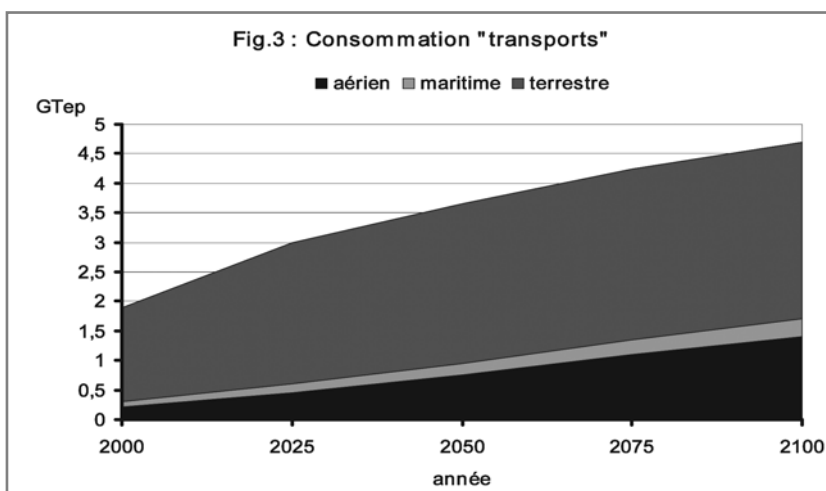
- *it is the only fuel whose specifications are the same worldwide;*
- *in the process of distillation it occupies a narrow slot between petrol and diesel (between 200 and 230°C: see figure 4);*
- *it is a direct product of distillation, undergoing no treatment or mixing;*
- *the long life of aircraft rules out anything but a slow evolution in specifications.*

*Kerosene production is in direct competition with other fuels, in particular diesel. The price of kerosene, for oil refiners, is directly related to that of diesel (which can be made by adding 15% heavy fuel to 85% kerosene). According to Tomas Vanicek, its cost is thus linked to that of diesel as follows:*

$$\text{Price of kerosene} = 1.175 * \text{price of diesel} - 0.175 * \text{price of heavy fuel}$$

6. Presentation by Tomas Vanicek (Total)

Au cours de la période considérée, la contribution des transports dans la consommation énergétique totale reste voisine de 20% ; en raison de son développement plus rapide et de la difficulté à lui trouver une alternative crédible, **la part du transport aérien augmenterait nettement en passant au cours du siècle de 2% à 6% de la consommation énergétique mondiale (soit de 10 à 30% de celle du secteur des transports).**



### 1.2.2 - Les disponibilités de kérosène de pétrole pour l'aéronautique<sup>6</sup>

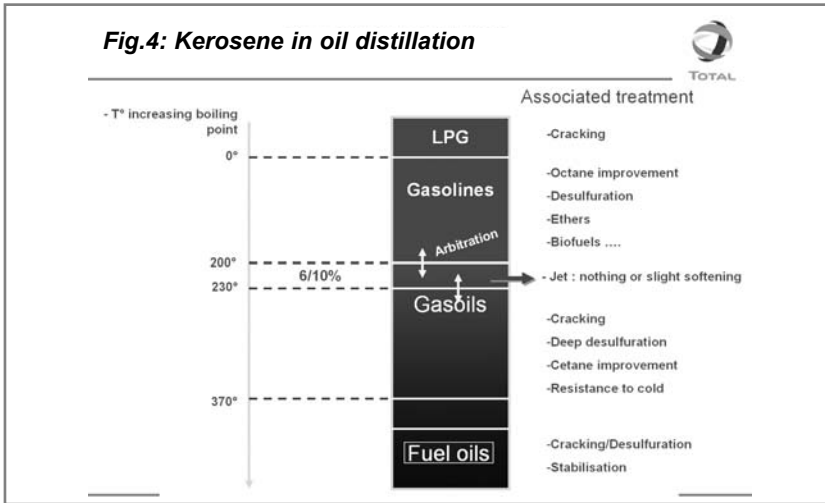
Le kérosène (désignation impropre pour le pétrolier qui préfère utiliser la dénomination "jet fuel") se différencie des autres carburants, tels l'essence et le diesel, par plusieurs spécificités :

- il est le seul carburant dont les spécifications sont identiques au niveau mondial ;
- il correspond à une tranche très étroite dans le processus de distillation entre les essences et le diesel (entre 200 et 230 °C : voir figure 4) ;
- c'est un produit issu directement de la distillation sans traitement ni mélange ;
- la durée de vie des avions ne permet que de lentes évolutions des spécifications.

La production de kérosène est en concurrence directe avec celle des autres carburants en particulier avec le diesel. Le prix du kérosène pour le raffineur est directement lié à celui du diesel : en effet, il est possible de faire du diesel en ajoutant 15% de fuel lourd à 85% de kérosène ; selon Tomas Vanicek le prix du kérosène se déduit de celui du diesel par la formule :

$$\text{Prix kérosène} = 1,175 * \text{prix du diesel} - 0,175 * \text{prix du fuel lourd}$$

6. Exposé de Tomas Vanicek (Total)



The balance between kerosene and diesel is always a delicate one for oil refiners and a strong demand for diesel tends to sway the balance in favour of the latter. Nowadays kerosene represents approximately 6 to 10% of refined oil, i.e. 2.4 to 4% of global energy consumption. This level could increase to a maximum of 30% with favourable arbitration; even on this assumption, the kerosene available from refineries would account for only 2% (30% of 6%) of energy consumption in 2100, that is to say only a third of the requirements of air transport. Consequently, one has to expect to see demand exceed offer towards 2050.

### 1.3 - Substitute fuels<sup>7</sup>

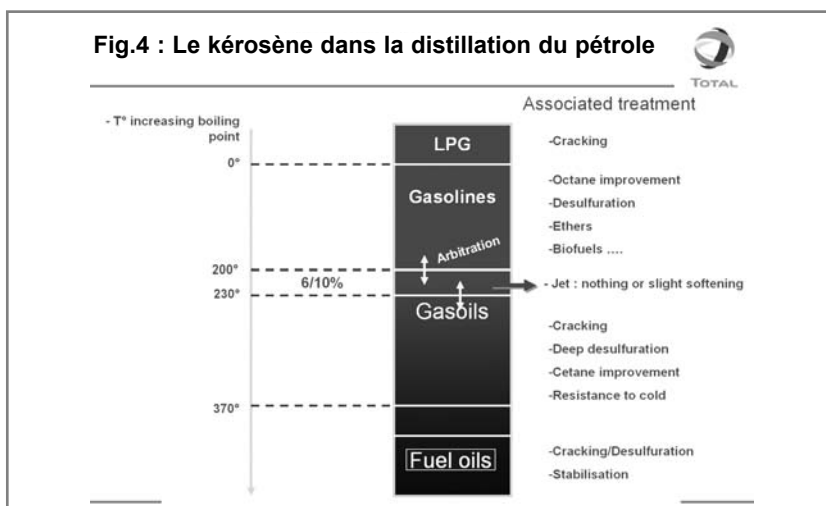
#### 1.3.1 - Possible choices

Alternative sources of energy to kerosene, most of which are already known and exploited, can be classified according to their impact on propulsion: on the one hand fuels suited to current engines and on the other, those requiring a new type of engine.

The first, qualified as alternative fuels, fall into three categories:

**1- Biofuels** obtained from agricultural products or the biomass exist in two forms today – bioethanol and methyl esters –, used respectively as substitutes (or additives) to petrol and diesel. Given the surface area available for their production, their potential volume would correspond to a maximum of 2 Gtoe, or roughly 8% of total energy needs in 2100 (or 50% of transport sector requirements).

7. Information taken from Paul Kuentzmann's presentation (ONERA)



L'arbitrage entre le kérosène et le diesel se pose à chaque instant pour le pétrolier et la plus forte demande pour le diesel joue souvent en faveur de ce dernier. Aujourd'hui le kérosène représente de l'ordre de 6 à 10% du pétrole raffiné, c'est-à-dire 2,4 à 4% de la consommation énergétique. Ce niveau pourrait aller jusqu'à un maximum de 30% avec un arbitrage favorable : même dans cette hypothèse, **le kérosène extrait des raffineries ne représenterait que 2% (30% de 6%) de la consommation énergétique en 2100, soit le tiers seulement du besoin requis pour le transport aérien. Il faut s'attendre dès 2050 à voir la demande dépasser l'offre.**

### 1.3 - Les combustibles de substitution<sup>7</sup>

#### 1.3.1 - Les choix possibles

Les énergies de substitution au kérosène, pour la plupart connues et déjà exploitées, peuvent être classées selon leur impact sur la conception de la propulsion, d'un côté les combustibles aptes aux réacteurs actuels et de l'autre ceux exigeant un nouveau type de propulseurs.

Les premiers, qualifiés de combustibles alternatifs, se répartissent en trois catégories :

- 1- Les biocarburants** obtenus à partir de produits de l'agriculture ou de la biomasse se présentent aujourd'hui sous deux formes : le bioéthanol et les esters méthyliques, utilisés respectivement comme substitut (ou additif) à l'essence et au gazole ; compte tenu des surfaces disponibles pour une telle production, le volume accessible correspondrait au maximum à 2 GTep, soit en 2100 de l'ordre de 8% de la consommation énergétique totale (ou 50% des besoins du transport) ;

7. Les informations présentées sont extraites de l'exposé de Paul Kuentzmann (ONERA)

- 2- **Synthetic kerosene**, obtained from coal, natural gas or the biomass, has properties close to those of fuel produced from oil. The main production process (known as the Fischer-Tropsch<sup>8</sup> process) was used in Germany as early as 1935 and was further refined in South Africa during Apartheid. The feasibility of the process is thus proven and the existence of coal reserves justifies its implementation; however before proceeding to new industrial production, certain problems must be resolved: an energy efficiency of less than 50%, high levels of CO<sub>2</sub> emission during the production process (requiring its sequestration) and steep production costs.
- 3- **Cryogenic fuels** consist essentially of liquefied natural gas (or LNG) and liquid hydrogen (LH<sub>2</sub>). LNG would not seem to be a credible alternative as an aeronautic fuel because of the future progressive depletion of gas reserves and a preference for the use of natural gas for synthetic kerosene production. On the other hand LH<sub>2</sub>, despite being only one energy vector, could become a possible alternative for aeronautics, which is tolerant of its essential evaporation and is thus the only means of transport able to use it in liquid form; a major advantage of LH<sub>2</sub> is that it would not emit CO<sub>2</sub> (as long as the hydrogen was produced using renewable or nuclear energy). However much remains to be done to disperse all doubts and prove the technical and economic feasibility of the concept (aircraft and production and distribution logistics).

Other forms of energy can be used but they are not compatible with current products and would therefore require new aircraft designs:

- 1- **Electric power**, in the shape of fuel cells, would involve electric engines driving propellers; today, the weight of the propelling system involved – ten times heavier than the current one – is prohibitive; it would have to be reduced by a factor of more than five to make this form feasible.
- 2- **Nuclear energy** and associated propulsion systems meet requirements of weight, consumption and environment except in the case of an accident. However, the need to protect passengers and crew makes any nuclear transport module unrealistic. On the other hand, nuclear energy can be used indirectly through electrolytic production of hydrogen for use as liquefied hydrogen fuel.

---

8. The Fischer-Tropsch process corresponds to indirect coal liquefaction. Direct coal liquefaction also exists using a hydrogenation process (a plant is under construction in China)

- 2- **Les kérosènes de synthèse** obtenus à partir du charbon, du gaz naturel ou de la biomasse ont des propriétés proches de celles du carburant issu du pétrole. Le principal procédé de production, connu sous la dénomination Fischer-Tropsch<sup>8</sup>, a été exploité par l'Allemagne dès 1935 et perfectionné en Afrique du Sud à la période de l'Apartheid. La faisabilité du processus est donc démontrée et les réserves de charbon en justifient la mise en oeuvre ; toutefois avant de passer à une nouvelle phase de production industrielle, il subsiste des points à améliorer : un rendement énergétique du processus inférieur à 50%, une forte émission de CO<sub>2</sub> lors du processus de production (exigeant sa séquestration) et un coût élevé ;
- 3- **Les carburants cryogéniques** sont représentés principalement par le gaz naturel liquéfié (ou GNL) et l'hydrogène liquide (LH<sub>2</sub>). La forme GNL ne semble pas être une alternative crédible du fait du futur déclin de la production de gaz et d'une préférence pour son utilisation dans l'aviation sous la forme de kérosène de synthèse. En revanche, bien que n'étant qu'un vecteur énergétique, le LH<sub>2</sub> peut devenir une alternative possible pour l'aéronautique : il est d'ailleurs le seul mode de transport à pouvoir l'utiliser sous la forme liquide du fait d'une tolérance de l'exploitation de l'avion vis-à-vis de son indispensable évaporation ; le grand avantage du LH<sub>2</sub> est de ne pas émettre de CO<sub>2</sub> à condition qu'il soit produit à partir d'énergies renouvelables ou nucléaires. Toutefois un long chemin reste à parcourir pour lever toutes les incertitudes et pour démontrer la faisabilité technique et économique du concept (avion, logistique de production et de distribution).

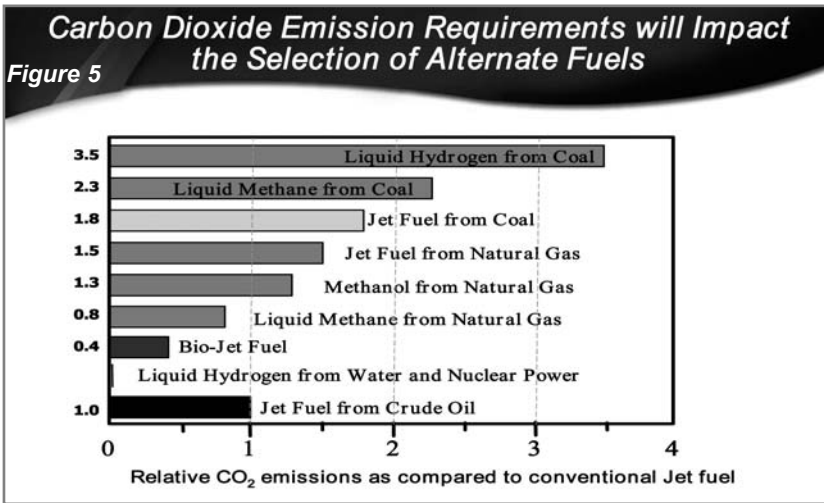
D'autres formes d'énergie peuvent être utilisées mais elles ne sont pas compatibles avec les avions actuels et nécessiteront l'émergence de nouveaux concepts d'avions :

- 1- **L'énergie électrique**, envisagée sous la forme de piles à combustibles, serait associée à des moteurs électriques entraînant des hélices ; aujourd'hui, la masse du système propulsif dix fois plus élevée que la propulsion actuelle est rédhibitoire : elle devrait être réduite dans un facteur supérieur à cinq pour justifier d'aller plus avant.
- 2- **L'énergie nucléaire** et le système propulsif associé répondent aux exigences de masse, de consommation et d'environnement en dehors des situations accidentelles. Cependant la nécessité de protection des passagers et de l'équipage rend irréaliste la réalisation du module de transport nucléaire. En revanche, l'énergie nucléaire peut être utilisée indirectement au travers de la production électrolytique d'hydrogène en vue de son emploi sous une forme liquéfiée.

8. Le procédé Fischer Tropsch correspond à une liquéfaction "indirecte" du charbon ; il existe des procédés "directs" par hydrogénation du charbon (une usine de ce type est en construction en Chine)

1.3.2 - Suitability for aeronautics

We will limit ourselves to the alternative fuels mentioned above; the criterion to be taken into account from an environmental point of view is that of CO<sub>2</sub> emissions: the table presented by Jeff VerWey (Boeing) in Figure 5 is a good summary of the situation.



On a level of aeronautic efficiency, the main qualities sought are the following:

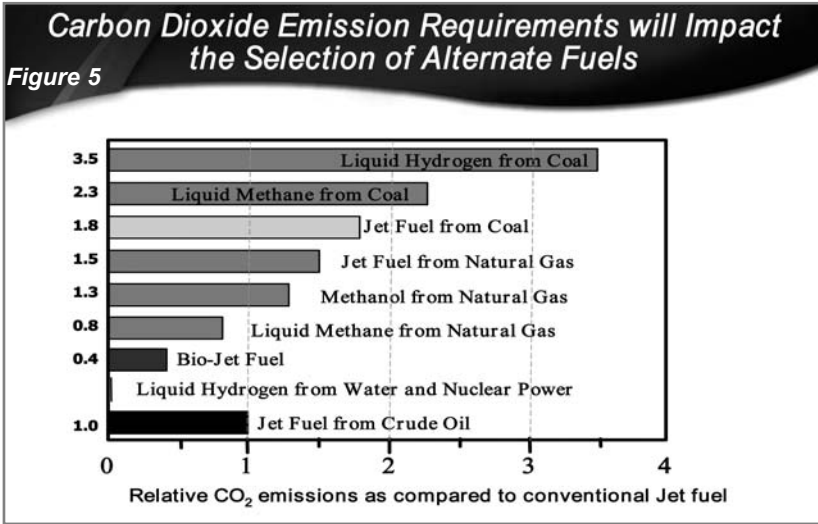
- maximum specific energy,
- high density (size of tanks),
- a liquid state ranging from -50 to +50 °C,
- a very high level of safety (risks associated with the flight and the presence of fuel).

fuel	specific energy (kJ/kg)	weight vol. (kg/dm <sup>3</sup> )	liquid state	safety
kerosene from oil	43,000	0.80	-50 to +170°C	high stability
synthetic kerosene	40,000	0.75	-50 to +160°C	high stability
bioethanol	17,000	0.80	-114 to +78°C	low stability
biodiesel	35,000	0.90	-15 to ? °C	vulnerable to frost
hydrogen	120,000	0.07	-259 to -253°C	risk of explosion



1.3.2 - L'adaptation

Nous nous limitons aux combustibles alternatifs cités plus haut ; le critère à prendre en compte du point de vue environnemental est le niveau des émissions de CO<sub>2</sub> : le tableau présenté par Jeff VerWey (Boeing) et repris en figure 5 résume bien la situation sur ce plan.



Sur le plan de l'efficacité aéronautique, les principales qualités recherchées sont les suivantes :

- une énergie spécifique la plus élevée possible ;
- une forte masse volumique (dimensionnement des réservoirs) ;
- un état physique liquide compris entre -50 et +50 °C ;
- une grande sécurité d'utilisation (risques associés au vol et à la présence d'énergie).

combustible	énergie spécifique (kJ/kg)	masse vol. (kg/dm <sup>3</sup> )	état liquide	sécurité
kérosène de pétrole	43000	0,80	-50 à +170°C	grande stabilité
kérosène de synthèse	40000	0,75	-50 à +160°C	grande stabilité
bio, éthanol	17000	0,80	-114 à +78°C	faible stabilité
bio, diester	35000	0,90	-15 à ? °C	vulnérabilité au gel
hydrogène	120000	0,07	-259 à -253°C	risque explosion

*Only oil and synthetic kerosene meet all the necessary specifications; hydrogen has the greatest energy efficiency but its feasibility for use in aeronautics will have to be proven (point 4 below); before becoming an acceptable substitute energy it will also be necessary to succeed in producing it from a non polluting energy (only nuclear energy will allow this) and to organise its distribution logistics.*

### 1.4 - Increasing energy prices

*An increase in energy prices is unavoidable due to:*

- *the rising price of oil resulting from increasing demand and a limited offer;*
- *a likely tax on CO<sub>2</sub> emissions (or purchase cost of rights of emission),*
- *the cost of CO<sub>2</sub> sequestration during synthetic kerosene production.*

*One must note however that a price increase in fossil fuel will inevitably lead many users (home owners, ground and sea transport, industry and services) to turn to other sources of energy, mainly nuclear generated electricity, the cost of which should not noticeably increase. Such a transfer will leave more fossil fuel available for those users reliant on petrol (organic chemistry and air transport).*

*The table below shows the consequences of a possible set of assumptions in the medium term on the full cost of kerosene<sup>9</sup>; these hypotheses, put forward by Pierre-René Bauquis, correspond to a barrel price of \$100 or \$200 and to an extra cost for CO<sub>2</sub> emission (taxation or*

	yesterday	today	tomorrow (2010-2020)	thereafter (2020-2030)
<b>Basic price of oil:</b>				
• barrel: \$	25.0	50.0	100.0	200.0
• kerosene : \$ / tonne	275.0	550.0	1100.0	2200.0
<b>Tonne of CO<sub>2</sub> = \$50</b>				
• kerosene	275.0	550.0	1100.0	2200.0
• impact CO <sub>2</sub>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>175.0</u>	<u>175.0</u>
• total cost in \$	275.0	550.0	1275.0	2375.0
• factor/ref. \$550	0.5	1.0	2.3	4.3
<b>Tonne of CO<sub>2</sub> = \$500</b>				
• kerosene	275.0	550.0	1100.0	2200.0
• impact CO <sub>2</sub>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1750.0</u>	<u>1750.0</u>
• total cost in \$	275.0	550.0	2850.0	3950.0
• factor/ref 550\$	0.5	1.0	5.2	7.2

9. This table was presented and discussed in detail during the final round table

Seuls les kérosènes de pétrole et de synthèse répondent à la totalité des spécifications requises. De son côté, l'hydrogène possède la plus grande efficacité énergétique mais la faisabilité du concept aéronautique autorisant son emploi doit encore être démontrée (voir point 4 ci-après) ; avant de devenir une énergie de substitution acceptable il est de plus nécessaire de maîtriser sa production à partir d'une énergie non polluante (seule l'énergie nucléaire le permet) ainsi que sa logistique de distribution.

#### 1.4 - Le renchérissement de la ressource énergétique

Le renchérissement de la ressource énergétique est inéluctable en raison :

- de la hausse du prix du pétrole résultant d'une demande toujours plus forte et d'une offre proche de son plafond ;
- d'une probable taxation des émissions de CO<sub>2</sub>, (ou achat de droits d'émission),
- du coût de la séquestration du CO<sub>2</sub> lors de la production du kérosène de synthèse.

Il faut cependant remarquer qu'un renchérissement de la ressource énergétique fossile conduira inévitablement pour de nombreux usages (habitations, transports terrestre et maritime, industrie et services) vers l'emploi d'autres sources d'énergie, principalement l'électricité d'origine nucléaire dont le coût ne devrait augmenter sensiblement ; un tel report augmentera les disponibilités pour les autres utilisations ne pouvant se passer de pétrole (chimie organique et transport aérien).

Le tableau suivant présente les conséquences sur le coût complet<sup>9</sup> du kérosène d'un jeu d'hypothèses possibles à moyen terme ; celles-ci, proposées par Pierre-René Bauquis, correspondent à un prix du baril de pétrole atteignant 100 et 200 \$ et à un coût additionnel pour le CO<sub>2</sub> émis (taxation ou séquestration pour le

	hier	aujourd'hui	demain (2010-2020)	après-demain (2020-2030)
<b>Prix de base du pétrole :</b>				
• baril : \$	25,0	50,0	100,0	200,0
• kérosène : \$ / tonne	275,0	550,0	1100,0	2200,0
<b>Tonne de CO<sub>2</sub> = 50 \$</b>				
• kérosène	275,0	550,0	1100,0	2200,0
• impact CO <sub>2</sub>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>175,0</u>	<u>175,0</u>
• coût total en \$	<b>275,0</b>	<b>550,0</b>	<b>1275,0</b>	<b>2375,0</b>
• facteur/réf. 550 \$	<b>0,5</b>	<b>1,0</b>	<b>2,3</b>	<b>4,3</b>
<b>Tonne de CO<sub>2</sub> = 500 \$</b>				
• kérosène	275,0	550,0	1100,0	2200,0
• impact CO <sub>2</sub>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1750,0</u>	<u>1750,0</u>
• coût total en \$	<b>275,0</b>	<b>550,0</b>	<b>2850,0</b>	<b>3950,0</b>
• facteur /réf. 550 \$	<b>0,5</b>	<b>1,0</b>	<b>5,2</b>	<b>7,2</b>

9. Ce tableau a été présenté et longuement discuté lors de la table ronde finale

*sequestration for synthetic kerosene) estimated at 50 and \$500 per tonne<sup>10</sup>; the following complementary hypotheses were advanced:*

- *3.5 tonnes of CO<sub>2</sub> emitted per tonne of kerosene (that is to say 0.5 tonnes per barrel);*
- *price per tonne of crude oil equal to 7.3 times the price of the barrel;*
- *price per tonne of kerosene equal to 1.5 times that of crude oil (or 11 times the price of the crude oil barrel).*

***Such factors, increasing operational costs, will inevitably effect the development of air transport. Even if the hypotheses they are based on are debatable, it is necessary to measure this impact and we will endeavour to do so in the following section.***

---

10. It is very difficult today to give an estimate of the cost of CO<sub>2</sub> emissions based on available information, and any forecasts depend on future environmental policy; the figures indicated here were proposed by Pierre-René Bauquis, renowned specialist in the oil world and professor at IFP-school: they attempt to quantify this factor and measure its consequences on the development of air traffic. Such information can be useful for raising awareness in politicians as to the consequences of decisions they might have to take in this area.

kérosène de synthèse) estimé à 50 et 500 \$ la tonne<sup>10</sup> ; les hypothèses complémentaires suivantes ont été retenues :

- émission de 3,5 tonnes de CO<sub>2</sub> par tonne de kérosène (soit 0,5 tonne par baril) ;
- prix de la tonne de pétrole brut supposé égal à 7,3 fois le prix du baril ;
- prix de la tonne de kérosène égal à 1,5 fois celui du pétrole brut (soit 11 fois le prix du baril de pétrole brut).

**De tels facteurs de renchérissements des coûts d'exploitation ne peuvent être sans conséquences sur le développement du transport aérien** : même si les hypothèses qui en sont à l'origine sont discutables, il est nécessaire de mesurer leur impact et c'est ce que nous essaierons de traiter au point suivant.

---

10. Il est aujourd'hui très difficile de donner une estimation du coût du CO<sub>2</sub> émis à partir des informations disponibles et toutes les projections que l'on pourrait faire pour l'avenir dépendent de la politique suivie en matière d'environnement ; les chiffres indiqués ici ont été proposés par Pierre-René Bauquis, spécialiste reconnu dans le monde des pétroliers et aujourd'hui professeur à l'IFP School : ceux-ci permettent de quantifier l'importance de ce facteur et d'en mesurer les conséquences sur le développement du trafic aérien. Une telle information peut être utile pour sensibiliser les acteurs politiques sur les conséquences des décisions qu'ils peuvent être amenés à prendre dans le domaine.

## 2- IMPACT ON AIR TRANSPORT OF INCREASING FUEL PRICES

*An economic approach was present throughout the colloquium, and found its expression in the analysis of air traffic: without traffic needs there would be neither air transport nor civil aeronautics construction. The question is crucial but, as became obvious in the course of the colloquium, answers put forward are not yet totally satisfactory<sup>11</sup>.*

*The first question to be raised in this context is: “**What percentage does fuel represent of an airline’s operating costs**”? One clue can be found in the figure of \$95 billion, which represents the oil bill in 2005 of airlines belonging to IATA, for a turnover of \$400 billion; **fuel in 2005 thus represented over 23% of turnover**. This level was confirmed by Daniel Sallier who established figures of 13% for medium-haul transport and 27% for long-haul transport in 2005.*

***What oil price should be associated with this estimate?** In 2005, the average price of a barrel of oil was close to \$60; we will here assume a value of \$50 as a reference in changing ticket price trends in 2005 in order to take account of delaying effects such as putting off fare increases and hedging.*

*The answer to the question “**what impact on traffic?**” is less obvious and opinions are divided; first of all, in order for there to have been an impact, fares would have had to fully reflect increases in oil prices, which was not the case since airlines used currency hedging to put off raising fares. Four different approaches here led to contrasting appreciations:*

- *one idea was to **analyse the impact of the doubling of oil prices between 2003 and 2005**, but it did not prove conclusive: within an observed growth in traffic of 22.5%, it was impossible to identify the relative impacts of a doubling in the cost of oil, a 9.6% growth in world GDP and the events of September 2001 (loss of traffic of about 15% between 2000 and 2003);*
- *a second plan consisted of **seeking the operators’ point of view**<sup>12</sup>: their vision was relatively optimistic and they did not foresee any significant effect on traffic from changing oil prices; they quoted existing trends which point to a link between traffic and growth in GDP (roughly 2%) and to internal improvements to airlines’ productivity; given the higher ratio of fuel in operational costs, low-cost airlines are however more sensitive to these evolutions;*

---

11. The information presented is taken from the presentations of Daniel Sallier (ADP), Gilles Bordes-Pagès (Air France) and Ray Webster (former EasyJet Chief Executive).

12. Exposés by Gilles Bordes-Pagès (Air France) and Ray Webster (former EasyJet Chairman)

## 2- IMPACT DE L'AUGMENTATION DU COÛT DU CARBURANT SUR LE TRANSPORT AÉRIEN

Tout au long du colloque, l'approche économique est présente et celle-ci trouve son expression finale dans l'analyse du trafic aérien : sans besoin de trafic, il n'y aurait ni transport aérien ni construction aéronautique civile. La question est d'importance, mais comme cela est apparu lors du colloque, les réponses proposées ne sont pas encore totalement satisfaisantes<sup>11</sup>.

Dans la démarche, la première question posée est : **“quelle est la part du carburant dans les coûts d'exploitation d'une compagnie aérienne”** ? Une première réponse se déduit directement du montant de 95 milliards \$ de la facture pétrolière en 2005 des compagnies membres de l'IATA pour un chiffre d'affaires de 400 milliards \$ ; on obtient ainsi pour le poste carburant **en 2005 un niveau supérieur à 23% du chiffre d'affaires**. Ce niveau est confirmé par l'exposé de Daniel Sallier retenant toujours pour 2005 les chiffres de 13% pour le moyen courrier et 27% pour le long-courrier.

**Quelle valeur du prix du pétrole faut-il associer à cette estimation ?** Pour l'année 2005, le prix moyen du baril de pétrole est proche de 60 \$ ; pour tenir compte de plusieurs effets retardateurs tels le report des augmentations tarifaires et l'amortissement de l'impact dû à la politique de couverture, nous retiendrons une valeur de **50 \$ pour le prix du baril comme référence dans la valorisation du prix du billet en 2005**.

La réponse à la question **“quel est l'impact sur le trafic ?”** est moins évidente et les avis sont partagés ; tout d'abord, pour qu'il y ait impact, il faut que les tarifs reflètent bien l'augmentation du prix du pétrole, ce qui n'a pas toujours été le cas puisque les compagnies se sont souvent protégées par des politiques de couverture et ont retardé l'impact tarifaire du coût du kérosène. Nous présentons ici quatre approches conduisant à des appréciations contrastées :

- une première idée consiste à **analyser les conséquences du doublement du prix du pétrole entre 2003 et 2005** mais elle n'est pas concluante : en effet, on ne peut distinguer dans la croissance constatée de 22,5% du trafic entre 2003 et 2005 la part imputable au doublement du coût du pétrole de celle résultant de la croissance du PIB mondial (+9,6%) ainsi que du rattrapage des événements de septembre 2001 (perte de trafic de l'ordre de 15% entre 2000 et 2003) ;
- une deuxième voie consiste à **demandeur l'avis des exploitants**<sup>12</sup> : leur vision est relativement optimiste et ils indiquent ne pas ressentir d'effet significatif du coût du pétrole sur le trafic compte tenu des tendances déjà

11. Les informations présentées sont extraites des exposés de Daniel Sallier (ADP), de Gilles Bordes-Pagès (Air France) et de Ray Webster (ancien directeur général de EasyJet).

12. Exposés de Gilles Bordes-Pagès (Air France) et de Ray Webster (ancien président de EasyJet)

- *the third approach, based on the use of **traffic analysis and forecasting models** according to fares, is complex because it takes into account the nature of the flight (business or individual), the type of traffic (operating range and geographical sector) and the financial means of passengers; a model developed by Daniel Sallier<sup>13</sup> (called Kenza), put into application at Aéroport de Paris, attempts to take into account the different aspects mentioned above in a new approach, but it shows that a doubling of the cost of oil (from \$50 to \$100 the barrel) would lead to a 20% reduction in the short-haul market (elasticity of -1.5) and 50% in the long-haul market (elasticity of -2);*
- *a fourth analysis obtained by a simpler model elaborated by the DGAC (French Civil Aviation Authority) indicated an average elasticity of about -1 between traffic and ticket price.*

*More expensive ticket prices will lead to a more elitist situation for air transport, which seems hardly desirable after twenty years spent trying to open the sector up to a wider public. The business clientele and more affluent passengers in general will be less affected by higher fares; on the other hand less well off passengers will be doubly affected by a higher relative increase in fares and a greater elasticity of traffic according to price.*

*The need to create a sophisticated forecasting tool in this area is highlighted by measuring the impact on traffic in the medium term (2020) of a set of assumptions situated halfway between the various proposals:*

- *a doubling of the price of oil (barrel at \$100),*
- *CO<sub>2</sub> at \$50 per tonne,*
- *elasticity of -1 between traffic and ticket price (lower than the Kenza model).*

*On the basis of this set of assumptions, without taking into account any improvement in air transport efficiency, one obtains successively:*

- *a fuel cost / operational costs ratio multiplied by a factor of 2.3;*
- *an increase in ticket price of 30% ( $23\% * 2.3 = 53\%$ , i.e.  $23\% + 30\%$ );*
- *an equivalent reduction in traffic of 30% (elasticity of -1);*
- *a reduction in the operational fleet (20,000 planes) of 30%, i.e. 6,000 planes;*
- *an equivalent reduction in deliveries during the period.*



constatées, d'une élasticité du trafic à la croissance du PIB toujours élevée (de l'ordre de 2%) et des améliorations de productivité internes aux compagnies ; compte tenu d'un poids relatif plus important du poste carburant dans les coûts d'exploitation, les compagnies à bas coûts présentent une plus grande sensibilité à ces évolutions ;

- la troisième approche repose sur **l'utilisation des modèles d'analyse et de prévision du trafic** : la modélisation en fonction du prix du billet est complexe car elle fait intervenir la nature du déplacement (affaires ou individuel), la segmentation du trafic (rayon d'action et secteur géographique) et les niveaux de ressources des passagers. Le modèle développé par Daniel Sallier<sup>13</sup> (modèle dénommé Kenza) et appliqué par Aéroports de Paris essaie de prendre en compte les différents aspects mentionnés ci-dessus selon une approche nouvelle ; son application à partir de la situation constatée en 2005 conduit pour un doublement du coût du pétrole (passage de 50 à 100 \$ le baril) à une réduction de 20% du marché court-courrier (élasticité de -1,5) et de 50% du marché long-courrier (élasticité de -2).
- une quatrième analyse basée sur un modèle plus simple élaboré par la DGAC conduit à une élasticité moyenne de l'ordre de -1 entre le trafic et le prix du billet.

**L'augmentation du prix du billet se traduira par une évolution vers une situation plus élitiste du transport aérien, ce qui ne semble pas souhaitable après la forte démocratisation recherchée au cours des vingt dernières années.** En effet, la clientèle "affaires" et celle de ressources élevées seront peu touchées par l'augmentation du prix du billet ; en revanche, le trafic des passagers les moins favorisés sera doublement affecté par une plus forte augmentation relative du prix du billet et par une plus grande élasticité du trafic en fonction du prix.

**Le besoin de disposer d'un outil de prévision performant dans ce domaine est bien souligné par le calcul de l'impact sur le trafic à moyen terme (2020) d'un jeu d'hypothèses se situant à mi-chemin entre les diverses propositions :**

- doublement du prix du pétrole (baril à 100 \$) ;
- coût du CO<sub>2</sub> à 50 \$ la tonne le baril ;
- élasticité de -1 entre le trafic et le prix du billet (en dessous du modèle Kenza).

Sur cette base, et en ne prenant en compte à ce stade aucune amélioration dans l'efficacité du transport aérien, on obtient successivement :

- un coût du carburant dans les coûts d'exploitation multiplié par un facteur de 2,3 ;

---

13. Exposé de Daniel Sallier (ADP)

*This gives an idea of the stakes involved in an increase in fuel prices although it must be said that the results were obtained from unconfirmed assumptions and models and did not take into account the impact of current and future improvements in aircraft efficiency, this last point being the subject of the following chapter.*

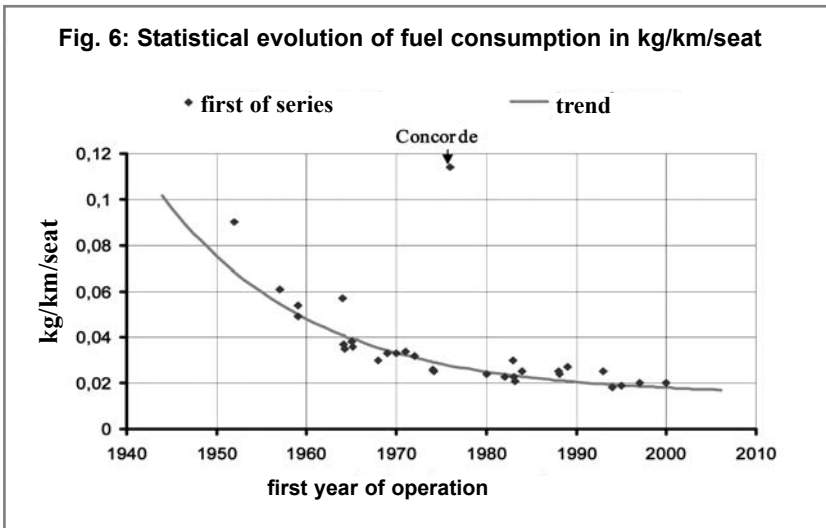
- un prix du billet augmenté de 30% ( $23\% * 2,3 = 53\%$  soit  $23\% + 30\%$ ) ;
- une diminution du trafic du même niveau, soit 30% (élasticité de -1) ;
- une réduction de la flotte en service (20 000 avions) de 30% soit 6 000 avions ;
- des livraisons restreintes de la même quantité.

**Un tel calcul donne la mesure des enjeux liés au renchérissement du carburant ; il faut toutefois ne pas oublier que ces résultats reposent sur des hypothèses et des modèles non définitivement validés ; de plus ils ne prennent pas en compte l'impact des améliorations en cours et à venir dans l'efficacité du produit aérien, point faisant l'objet du chapitre suivant.**

### 3- IMPROVED AIRCRAFT EFFICIENCY

Air traffic increased a hundredfold between 1950 and 2000. This feat was largely due to the invention in 1952 of the jet transport aircraft, the basic concept of which has remained unchanged ever since. The graph presented below (figure 6) shows the various improvements in efficiency (unit of fuel consumption expressed in kg/km/seat) from 1950 to 2000:

- a total reduction in fuel consumption by a factor of roughly 5;
- according to a sliding scale going from:
  - 5% per annum in the sixties,
  - 2.5% per annum in the eighties,
  - 1% per annum in the year 2000.



What will the situation be in the future? **The Advisory Council for Aeronautical Research in Europe (ACARE)** set an objective of a 50% reduction in fuel consumption by 2020, as follows:

- -20 to -25 % for the aircraft,
- -15 to -20 % for the engine,
- -10% for air navigation.

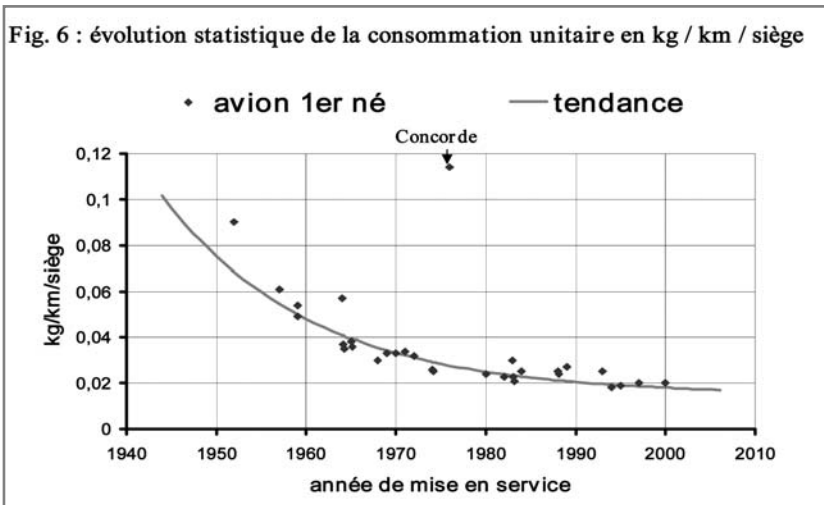
Is this realistic? The conference presentations enable a progress report to be attempted on current actions, classified and presented according to their origin:

- technology;

### 3- AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ DE L'AVION

Le trafic aérien a été multiplié par 100 entre 1950 et 2000. Cette performance a pu être obtenue grâce à la mise en service en 1952 de l'avion de transport à réaction dont le concept est resté inchangé depuis. Le graphique présenté ci-dessous en figure 6 montre **combien s'est améliorée l'efficacité (mesurée sous la forme de la consommation unitaire exprimée en kg/km/siège) au cours de la période de 1950 à 2000 :**

- une réduction globale par un facteur de l'ordre de 5 ;
- avec un rythme s'atténuant :
  - 5% par an dans les années 60,
  - 2,5% par an dans les années 80,
  - 1% par an dans les années 2000.



Qu'en sera-t-il dans l'avenir ? Le Conseil consultatif pour la recherche aéronautique en Europe (Advisory Council for Aeronautical Research in Europe connu sous la dénomination ACARE) a fixé pour objectif une économie de 50% sur la consommation de carburant à l'horizon 2020 par rapport à ceux mis en service en 2000 avec la répartition suivante entre les acteurs :

- de -20 à -25 % pour la partie avion,
- de -15 à -20 % pour la partie moteur,
- de -10% pour la navigation aérienne.

- characteristics of flights;
- operational exploitation;
- flight management, both en-route and on the ground.

### 3.1 - Impact of technology

*Technological advances were essential to past improvements in efficiency but nowadays their effects are slowing down: according to recent trends, the total effect on fuel consumption should be below 1% per year. This statistical approach must however be compared with current actions aimed at improving efficiency in the areas of propulsion and the airframe.*

#### 3.1.1 - Improvements in propulsion<sup>14</sup>

*Propulsion was the principal vector for improvement in the past, mainly due to an increased by-pass ratio (improving propulsive performance) and turbine inlet temperature (boosting the Carnot power output). If one keeps to the current mode of propulsion, possible improvements in the medium term will come from the same formulae but will bring only limited results: 10 to 15%, according to Rolls-Royce and SNECMA, by 2015. Difficulties observed in choosing between possible orientations can be explained by their contradictory effects on the required specifications (consumption, NOx emission, noise...).*

*In order to achieve ACARE goals, a reduction in speed will be necessary (Mach less than 0.8), thus allowing effective use of the fast propeller formula tested in the late 1980s. This concept would save an additional 15% in terms of consumption; however the problem of noise on takeoff is not yet solved and could require new aircraft design.*

#### 3.1.2 - Improvements to the airframe<sup>15</sup>

*While keeping to current architecture, two ways of reducing consumption involve aerodynamics and the operating empty weight; as analysed below, improvements in terms of consumption in the medium-term (ACARE 2020 objective) of aircraft put into service in 2000 are not likely to exceed 15%.*

***In the aerodynamic field**, progress to reduce drag has brought us closer to technological limits (computer optimisation of forms, lengthening of the wings and installation of “winglets” at the tip of each wing...): one should therefore not expect substantial improvements in this area.*

---

14. Information taken from the presentations of Jacques Renvier (SNECMA), Ian Ritchey (Rolls-Royce) and John Green (Greener by design group).

15. Information taken from the presentations of Philippe Jarry and Yvon Vigneron (Airbus), Jeff VerWey (Boeing), Fayette Collier (NASA) and John Green (Greener by design group).

Est-ce réaliste ? Les exposés du colloque permettent de faire le point sur les actions en cours classées et présentées selon leur origine :

- la technologie ;
- les caractéristiques des vols ;
- l'exploitation opérationnelle ;
- la gestion de la navigation en vol et au sol.

### 3.1 - L'impact de la technologie

L'impact de la technologie a été essentiel dans les améliorations d'efficacité passées mais, aujourd'hui, ses effets s'amenuisent : par prolongement des tendances passées, l'effet global sur la consommation unitaire devrait se situer au dessous de 1% par an. Une telle approche statistique doit toutefois être confrontée aux actions en cours en vue d'améliorer l'efficacité dans les domaines de la propulsion et de l'avion.

#### 3.1.1 - Amélioration de la propulsion<sup>14</sup>

La propulsion a été le principal vecteur d'amélioration dans le passé, en grande partie grâce à l'accroissement du taux de dilution (impact sur le rendement de propulsion) et à l'augmentation de la température d'entrée turbine (impact sur le rendement de Carnot). Si l'on reste dans le mode de propulsion actuelle, les améliorations possibles à moyen terme résulteront des mêmes recettes mais ne se traduiront que par des gains limités : de l'ordre de 10 à 15% selon Rolls-Royce et la SNECMA à l'horizon 2015. Une difficulté dans le choix des orientations possibles trouve son origine dans leurs effets contradictoires sur les spécifications recherchées (consommation, émission de NOx, bruit...).

Pour aller au-delà et atteindre les objectifs ACARE, il faudrait accepter une certaine réduction de la vitesse (Mach inférieur à 0,8) permettant une utilisation efficace de la formule de l'hélice rapide testée à la fin des années 80. Un tel concept permettrait alors de gagner 15% supplémentaires sur la consommation ; toutefois le problème du bruit au décollage n'est pas encore résolu et pourrait nécessiter de nouvelles formules d'avions.

#### 3.1.2 - Amélioration de la cellule<sup>15</sup>

En restant dans l'architecture actuelle, les deux voies d'amélioration de la consommation au niveau de la cellule concernent l'aérodynamique et la masse à vide ; comme on l'analyse ci-dessous, les améliorations possibles de la consommation à moyen terme (objectif ACARE 2020) par rapport aux appareils mis en service dans les années 2000 ne devraient pas dépasser 15%.

**Dans le domaine aérodynamique**, les progrès déjà obtenus sur l'optimisation de l'avion pour réduire la traînée nous rapproche des limites

14. Les informations présentées sont extraites des exposés de Jacques Renvier (SNECMA), de Ian Ritchey (Rolls-Royce) et de John Green (Greener by design group).

15. Les informations présentées sont extraites des exposés de Philippe Jarry et Yvon Vigneron (Airbus), de Jeff VerWey (Boeing), Fayette Collier (NASA) et de John Green (Greener by design group).

*A significant potential for improvement in the future lies in the laminarisation of the boundary layer; it has been a recurring subject since the beginnings of aviation but in spite of many attempts, experiments have never been convincing enough to encourage application in the medium term. In the longer term, the use of nanotechnologies, constantly optimising surfaces in contact with the air, might enable the boundary layer to be maintained in laminar flow; the advantages would then be considerable (drag reduced by about 15% according to John Green) but feasibility is far from being proven.*

*In the medium term, improvements to the operating empty weight will come from more widespread use of composite materials for the structural elements of the airframe. The proportion of composite materials, today about 25% of the airframe's structure, could reach 65% according to John Green; the corresponding weight reduction (close to 20% as compared to aluminium alloys) would involve a reduction in fuel consumption of 5 to 10%.*

### 3.1.3 - Overall improvements to aircraft

***Reductions in consumption expected from technological progress in the medium term are still far from the ACARE objective (-40%) for 2020:***

- *-25% through consolidation of the propulsion and airframe objectives detailed above;*
- *-15% pronounced by Fayette Collier (NASA) for 2012;*
- *-20% pronounced by Jeff VerWey (Boeing) for the 767 and 787;*
- *-15% pronounced (lengthening -10% and composites -5%) by Yvon Vigneron (Airbus).*

*In the longer term, this situation is likely to improve due to the use of fast propeller propulsion (-15%) and the laminarisation of the boundary layer (-15%).*

## **3.2 - Impact of mission profile<sup>16</sup>**

*To improve consumption efficiency, one can also exploit the characteristics of the air transport mission:*

- *operating range;*
- *capacity;*
- *speed;*
- *comfort.*

---

16. Information taken from presentations of Georges Ville (Académie de l'Air et de l'Espace) and John Green (Greener by design group).



technologiques (optimisation des formes par le calcul, choix de l'allongement de l'aile, installation de "winglets" aux extrémités de l'aile...) : aussi, ne faut-il pas attendre de gains substantiels dans cette voie.

Il subsiste un potentiel important d'amélioration pour l'avenir avec la laminarisation de la couche limite ; c'est un sujet récurrent depuis l'apparition de l'aviation mais malgré de nombreuses tentatives il n'y a jamais eu d'expérimentations probantes laissant entrevoir une application à moyen terme. À plus long terme, l'utilisation des nanotechnologies optimisant à chaque instant les surfaces en contact avec l'air pourrait peut-être permettre le maintien de la couche limite en écoulement laminaire ; les gains seraient alors appréciables (réduction de l'ordre de 15% de la traînée selon l'exposé de John Green) mais la faisabilité est loin d'être démontrée.

À moyen terme, les améliorations de la masse à vide auront pour origine une utilisation plus grande des matériaux composites pour les éléments structuraux de la cellule. La part des matériaux composites dans la cellule, aujourd'hui de l'ordre de 25% de la structure, pourrait atteindre 65% selon John Green ; le gain de masse correspondant (voisin de 20% par rapport aux alliages d'aluminium) entraînerait une réduction de consommation de l'ordre de 5 à 10%.

### 3.1.3 - Amélioration globale de l'avion

**Les réductions de consommation attendues à moyen terme de la technologie sont encore éloignées de l'objectif ACARE (-40%) retenu pour 2020 :**

- -25% par consolidation des objectifs propulsion et cellule annoncés ci-dessus ;
- -15% annoncés par Fayette Collier (NASA) pour 2012 ;
- -20% annoncés par Jeff VerWey (Boeing) entre le 767 et le 787 ;
- -15% annoncés (allongement -10% et composites -5%) par Yvon Vigneron (Airbus).

À plus long terme, cette situation pourrait s'améliorer grâce à l'utilisation d'une propulsion à hélices rapides (-15%) et à la laminarisation de la couche limite (-15%).

## 3.2 - Impact du profil de la mission

Pour améliorer l'efficacité de consommation, on peut aussi jouer sur les caractéristiques de la mission de transport aérien<sup>16</sup> :

- le rayon d'action ;
- la capacité ;
- la vitesse ;
- le confort.

16. Les informations présentées sont extraites des exposés de Georges Ville (Académie de l'Air et de l'Espace) et de John Green (Greener by design group).

### 3.2.1 - Impact of operating range

*Increasing the operating range produces three effects:*

- *greater advantage made of fuel greedy ascent and descent phases;*
- *higher fuel consumption due to the transporting of the extra fuel necessary to perform a long flight;*
- *a higher operating empty weight owing to a heavier aircraft and an increase in commercial installations.*

*The minimal unit consumption (kg/km/seat) for a flight of 3,000 km increases rapidly as operating range is extended; in his talk, Georges Ville analyses the **excess consumption for a flight of 15,000 km without stopover as compared to the same mission range carried out in 3 stages of 5,000 km:***

- ***+10% if one uses the same plane designed for 15,000 km;***
- ***+50% if one uses a plane designed for 5,000 km (John Green arrives at an even greater variation: +100%).***

### 3.2.2 - Impact of capacity

*This approach relates only to unit consumption (kg/km/seat): it is clear that the results would be different if considered from a viewpoint of operational economics; in energy terms, increasing the size of the plane impacts in various ways:*

- *more efficient use of the fixed elements (technical crew, cockpit and associated equipment...);*
- *neutral effect on propulsion dimension and other constraints;*
- *unfavourable scale effects (power of 3/2 and not proportionality) in terms of wing and fuselage dimensions and weight.*

*Given the same technology and operating range, unit consumption is optimal for a capacity of roughly 200 seats and grows thereafter.*

### 3.2.3 - Impact of cruising speed

*A reduction in speed causes a reduction in unit consumption because of three positive effects:*

- *an improvement in aerodynamics due to a reduction in compressibility drag;*
- *increased fuel efficiency;*
- *a reduction in the weight of the wing due to thicker aerofoils.*

*The full effect can only be obtained with an aircraft designed for a specific speed; moving from current aircraft designed for Mach 0.85 towards aircraft optimised for Mach 0.7 equipped with fast propellers would make it possible to reduce consumption by about 30% (see point 4).*

### 3.2.1 - Impact du rayon d'action

L'augmentation du rayon d'action fait intervenir trois effets :

- un meilleur amortissement des phases de montée et descente plus dispendieuse en carburant ;
- une surconsommation engendrée par le transport du carburant nécessaire à la mission ;
- une plus grande masse à vide due à une masse d'avion plus élevée et à un accroissement des aménagements commerciaux.

La consommation unitaire (kg/km/siège) minimale pour un rayon d'action de 3 000 km croît très vite avec le rayon d'action ; dans son exposé, Georges Ville donne la **surconsommation pour une mission de 15 000 km sans escale par rapport à un vol de même rayon d'action effectuée en 3 étapes de 5 000 km** :

- **+10% si on utilise le même avion dessiné pour 15 000 km,**
- **+50% si on utilise un avion dessiné pour 5 000 km** (John Green arrive à un écart encore plus élevé : +100%).

### 3.2.2 - Impact de la capacité

L'approche ne concerne ici que la consommation unitaire (kg / km /siège) : il est clair que les résultats seraient différents si l'on se plaçait au niveau de l'économie d'exploitation ; au plan énergétique, la taille de l'avion influe selon différentes formes :

- elle conduit à un meilleur amortissement des éléments fixes (équipage technique, poste de pilotage et équipements associés...) ;
- elle est neutre pour le dimensionnement de la propulsion et de la plupart des servitudes ;
- elle fait intervenir des effets d'échelle défavorables (puissance  $3/2$  et non proportionnalité) pour le dimensionnement de l'aile et du fuselage et donc pour leurs masses.

À même technologie et même rayon d'action, la consommation unitaire est optimale pour une capacité voisine de 200 sièges et croît au-delà.

### 3.2.3 - Impact de la vitesse de croisière

Une réduction de la vitesse entraînerait une diminution de la consommation unitaire en raison de trois effets favorables :

- une augmentation de la finesse aérodynamique accompagnant la réduction de la traînée de compressibilité ;
- un rendement de propulsion plus élevé ;
- une diminution de la masse de l'aile due à une plus grande épaisseur des profils.

Un plein effet ne peut être obtenu qu'avec un avion optimisé pour la vitesse ; le passage de l'avion actuel dessiné pour Mach 0,85 à un produit optimisé pour

### 3.2.4 - Impact of comfort

*It is not capacity that governs operating empty weight but the floor space available for installing seats; the operational efficiency of the floor space (thus of the plane) depends on the type of arrangement selected:*

- *an “economy” seat takes up a surface area of 0.4 sq.m;*
- *a “business” seat takes up a surface area of between 0.7 and 1 sq.m;*
- *a “first class” seat takes up a surface area of between 1 and 1.6 sq.m.*

*Comfort levels have increased over the years, as indicated by a statistical analysis of average surface area per seat: since the beginning of the sixties an average increase of 10% (20% for long-haul) can be observed due to:*

- *an evolution in distribution between the classes;*
- *a greater level of comfort for “first-class” seating.*

### 3.2.5 - Total impact

*Optimal use would make it possible to significantly reduce consumption: all measures combined would result in a **reduction in unit consumption of about 30%**, taking into account operational priorities.*

***The majority of these measures go against passenger satisfaction: is it reasonable to consider them?** Today, the situation does not yet seem ripe for such a turnaround but a strong obligation to reduce consumption will undoubtedly bring the subject more to the forefront in a few years.*

## 3.3 - Impact of operation<sup>17</sup>

*Operators have already implemented a certain number of actions aimed at reducing consumption and plan to continue these efforts:*

- *management organised on the “hub and spokes” principle in order to match offer to demand;*
- *onboard fuel limited to strict minimum;*
- *continuous descent approach eliminating the plateau before the final descent;*
- *limitation of consumption on the ground;*
- *rationalisation of air traffic control (see point 3.4 below).*

*A high fuel price gives a competitive advantage to the most efficient, and thus most modern, aircraft. A new oil price shock might thus encourage early fleet renewal.*

---

17. Information provided by Gilles Bordes-Pagès (Air France) and Ray Webster (former EasyJet Chief Executive).

Mach 0,7 et équipé d'hélices rapides permettrait de réduire la consommation de l'ordre de 30% (voir point 4 ci-après).

### 3.2.4 - Impact du confort

Le paramètre dimensionnant de la masse à vide n'est pas la capacité mais la surface de plancher disponible pour l'installation des sièges ; l'efficacité opérationnelle de la surface de plancher (donc de l'avion) dépend de l'aménagement retenu :

- un siège "économique" occupe une surface de 0,4 m<sup>2</sup> ;
- un siège "affaires" occupe une surface de 0,7 à 1 m<sup>2</sup> ;
- un siège "première" occupe une surface de 1 à 1,6 m<sup>2</sup>.

Le confort s'est accru au fil du temps comme le souligne une analyse statistique de la surface moyenne par siège depuis le début des années 1960 ; il apparaît une augmentation moyenne de 10% (20% pour les long-courriers) due :

- à une évolution de la répartition entre les classes ;
- au plus grand confort accordé au siège "première".

### 3.2.5 - Impact global

Une utilisation optimale permettrait de réduire de manière appréciable la consommation : le cumul de toutes les mesures entraînerait une **réduction de consommation unitaire de l'ordre de 30%**, compte tenu des pondérations à appliquer en fonction de l'importance dans l'exploitation.

**La plupart de ces mesures vont à l'encontre de la satisfaction du passager : est-il raisonnable de les envisager ?** Aujourd'hui, la situation ne semble pas encore mûre pour un tel changement dans les habitudes mais une forte obligation de réduction de consommation peut les faire devenir d'actualité dans quelques années.

## 3.3 - Impact de l'exploitation<sup>17</sup>

Les opérateurs ont déjà mis en œuvre et envisagent de poursuivre un certain nombre d'actions visant à réduire la consommation :

- réponse optimisée à la demande de trafic grâce à une gestion organisée sur le principe du "hub" et des correspondances ;
- quantité de pétrole embarqué limitée au strict nécessaire ;
- approche en descente continue excluant le pallier précédant la descente finale ;
- limitation de la consommation au sol ;
- rationalisation du contrôle aérien (voir point 3.4 ci-dessous).

Un prix de carburant élevé donne un avantage compétitif aux avions les plus efficaces et donc les plus modernes. Un nouveau choc pétrolier peut créer ainsi un effet d'anticipation sur le renouvellement des flottes.

17. Les informations présentées sont extraites des exposés de Gilles Bordes-Pagès (Air France) et de Ray Webster (ancien directeur général de EasyJet).

### **3.4 - Impact of navigation management**

*Two fields are considered:*

- *en-route navigation;*
- *airport operations.*

#### **3.4.1 - In-flight navigation<sup>18</sup>**

*The Eurocontrol organisation set up in 1960 has accompanied the development of European air transport from the outset and the importance of centralised management of European skies appeared very quickly. National administrations succeeded in delaying its effectiveness though and it was not until the end of the 20<sup>th</sup> century that centralised management of flight plans was at last put in place: this produced an appreciable reduction in fuel consumption because it almost totally eliminated unnecessary holding time before approach.*

*The SESAR programme (Single European Sky ATM Research programme) aims to modernise European air traffic management, in support of the European Commission's Single European sky; its implementation should lead to a reduction in oil consumption of 5 to 12% by 2020 (despite a doubling of movements) thanks to measures designed to increase the overall efficiency of the network of routes:*

- *flexible use of airspace, particularly in military zones;*
- *optimisation of flight paths and traffic flows: direct route, continuous descent approach, reduction of risk factors created by airspace congestion....*

*For example, increasing the number of flight levels in Europe in 2002 (introduction of Reduced Vertical Separation Minimum) increased capacity by 15% as well reducing CO<sub>2</sub> emissions by a million tonnes. The proposed market for CO<sub>2</sub> emissions should also have a positive effect on energy efficiency on the European route network.*

#### **3.4.2 - Airport operations<sup>19</sup>**

*In an overall approach to platform management, airports are aware of the need to control local impacts (access, cost of installations and buildings, nearby populations...) as well as the fuel consumption of aircraft in transit: duration of taxiing and fuel assistance to aircraft in the airport.*

---

18. Information taken from presentation by Andrew Watt (Eurocontrol).

19. Taken from the presentation of Marc Noyelle (ADP)

### 3.4 - Impact de la gestion de la navigation

Deux domaines sont considérés :

- la navigation en vol,
- les opérations aéroportuaires.

#### 3.4.1 - La navigation en vol<sup>18</sup>

L'organisation Eurocontrol, créée dès 1960, a accompagné le développement du transport aérien en Europe ; l'importance d'une gouvernance centralisée du ciel européen est apparue très vite. Les administrations nationales ont réussi à en freiner la mise en place et il a fallu attendre la fin du siècle pour voir aboutir à une gestion centralisée des plans de vol : celle-ci a entraîné une réduction appréciable de consommation grâce à la disparition presque totale des attentes involontaires à l'arrivée.

Le programme SESAR (Single European Sky ATM Research programme) a pour but la modernisation du système de gestion du trafic aérien en Europe, en support au Single European Sky de la Commission européenne ; sa mise en place devrait conduire en 2020 (malgré un doublement du nombre de mouvements) à une réduction de 5 à 12% du pétrole consommé grâce à un certain nombre de mesures d'accompagnement visant à augmenter l'efficacité globale du réseau de routes :

- utilisation flexible de l'espace aérien, en particulier celui des zones militaires ;
- optimisation des trajectoires et des flux de trafic : route directe, approche en descente continue, réduction des aléas créés par l'encombrement du ciel....

À titre d'exemple, l'augmentation du nombre de niveaux de vol en Europe en 2002 (introduction des Reduced Vertical Separation Minimum) a permis une augmentation de +15% en capacité ainsi qu'une réduction d'un million de tonnes des émissions de CO<sub>2</sub>.

À noter également que l'introduction d'un marché des émissions de CO<sub>2</sub> devrait avoir un effet positif sur l'efficacité énergétique sur le réseau de routes européen.

#### 3.4.2 - Les opérations aéroportuaires<sup>19</sup>

Dans une approche globale de gestion des plateformes, les aéroports sont sensibilisés à la maîtrise des impacts locaux (accès, économie des installations et des bâtiments, riverains...) tout autant qu'à la consommation de carburant des avions en transit : durée du roulement et assistance énergétique des avions au niveau de l'aéroport.

18. Les informations présentées sont extraites de l'exposé de Andrew Watt (Eurocontrol).

19. Les informations présentées sont extraites de l'exposé de Marc Noyelle (ADP)

## 4- NEW CONCEPTS

*Only two possible perspectives emerge from the talks of this colloquium; research will have to be continued in these two directions to prove the viability of the concepts put forward:*

- *in the medium term (for use in the second half of the century), an evolution in current aircraft, which would still use kerosene (from oil or synthetic) but would be fitted with a fast propeller powered propulsion system;*
- *in the long term (for operation during the next century), an aircraft capable of functioning with liquid hydrogen.*

### 4.1 - Fast propeller-powered aircraft<sup>20</sup>

*The principle was tested in the late 1980s and its feasibility substantiated. The noise problem in the cabin and on the ground still remains to be solved however; a new systems design, featuring engines fitted on top of the wings for instance, could provide a solution to this problem but its feasibility still has to be demonstrated.*

### 4.2 - Liquid hydrogen-powered aircraft<sup>21</sup>

*The first conclusions of the Cryoplane research programme carried out by Airbus and financed by the European Commission show that the use of hydrogen is technically possible; many points must still be verified though before recognising its total feasibility:*

- *design of aircraft with a sufficient tank capacity to store hydrogen fuel in liquid form;*
- *safety on the ground and in flight, whether on a full or empty tank ...;*
- *altitude limited by contrails;*
- *weight breakdown ...*

---

20. Information taken from the presentations of Philippe Jarry and Yvon Vigneron (Airbus), Jeff VerWey (Boeing), Fayette Collier (NASA) and John Green (Greener by design group)

21. Information taken from the presentation of Andreas Westenberger (Airbus)



## 4- NOUVEAUX CONCEPTS

Seules deux perspectives possibles ressortent des présentations faites ; les travaux de recherche devront être poursuivis dans les deux directions pour démontrer la viabilité des concepts proposés :

- à moyen terme (pour une exploitation dans la deuxième moitié du siècle), une évolution du produit actuel reposant toujours sur l'utilisation du kérosène (naturel ou de synthèse) mais équipé d'une propulsion basée sur des hélices rapides ;
- à long terme (pour une exploitation au cours du siècle prochain), un avion capable de fonctionner avec de l'hydrogène liquide.

### 4.1 - Avion à hélices rapides<sup>20</sup>

Le principe a été testé à la fin des années 1980 et la faisabilité d'un avion équipé de ce système propulsif peut être considérée comme acquise aujourd'hui. Il reste toutefois à résoudre le problème du bruit à l'intérieur de la cabine et à l'extérieur au voisinage du sol ; une architecture nouvelle installant par exemple les propulseurs au dessus de l'aile pourrait apporter une solution à ce problème mais il reste à en démontrer la faisabilité.

### 4.2 - Avion à hydrogène liquide<sup>21</sup>

Les premières conclusions du programme de recherche Cryoplane, mené par Airbus et financé par la Commission européenne, montrent que l'emploi de l'hydrogène est techniquement possible ; il reste beaucoup de points encore à vérifier avant d'accepter sa complète faisabilité :

- conception d'avion susceptible d'une capacité de réservoir suffisante pour loger le combustible hydrogène sous forme liquide ;
- sécurité au sol et en vol, réservoir plein ou vide...
- altitude limitée par les traînées de condensation ;
- devis de masse...

20. Les informations présentées sont extraites des exposés de Philippe Jarry et Yvon Vigneron (Airbus), de Jeff VerWey (Boeing), Fayette Collier (NASA) et de John Green (Greener by design group)

21. Les informations présentées sont extraites de l'exposé de Andreas Westenberger (Airbus)

## 5- CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

**1- The subsonic jet transport aircraft, in its current form, cannot operate without kerosene;** given the expected oil shortage and the forecast growth in traffic, its production process could become unsatisfactory in the course of the second half of the 21<sup>st</sup> century. It must be borne in mind here that this effect could be delayed by the rise in oil prices (due to scarcity) which would force many users to turn to other sources of energy (such as nuclear generated electricity); more oil would thus be available for air transport.

Biofuels produced from sugar or grain have characteristics making them unsuitable for use in jet engines; synthetic kerosene produced from oily plants or other types of biomass, on the other hand, would be an acceptable substitute and supplement to that produced from natural gas or coal.

**Synthetic kerosene today constitutes the single credible alternative for the second half of the 21<sup>st</sup> century.** The production processes using coal and natural gas have been mastered, although only coal will be in plentiful enough supply to satisfy the needs of air transport; however the CO<sub>2</sub> that is emitted during production of synthetic kerosene will need to be captured and stored by means of a costly procedure.

**Recommendation:** studies and pilot plants for production of synthetic kerosene must be launched today as part of a medium-term energy strategy.

**2- The rising price of kerosene (natural or synthetic) will bring with it an increase in fares** which will result in air transport, which had opened up to a much wider clientele, becoming a more restricted product again; the development of air traffic will slow down as a result, with a serious impact on aircraft deliveries.

The price of oil is determined by the law of supply and demand and cannot be manipulated in the long term; on the other hand, taxation on CO<sub>2</sub> emissions will have significant repercussions on air transport and it is important to measure the consequences before drastic decisions are made and put into action. Even if such taxes are imposed on all CO<sub>2</sub> emitters, special conditions could be envisaged for air transport in order to take account of its incapacity to use any other source of energy.

**Recommendation:** before coming to any decision, the consequences of a policy of taxation of air transport in the name of the environment should be measured, both on a level of satisfying individual needs for transport and of the possible effects on the aeronautic sector.

## 5- CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

1- L'avion de transport subsonique à réaction, tel qu'il existe aujourd'hui, ne peut se passer de kérosène ; son processus actuel de production pourrait devenir insuffisant au cours de la deuxième moitié du XXI<sup>e</sup> siècle compte tenu de la raréfaction du pétrole et des perspectives de croissance du trafic ; il est important de rappeler ici que cet effet pourra être retardé par la hausse du prix du pétrole (liée à sa raréfaction) conduisant de nombreux utilisateurs vers d'autres sources d'énergie (telle l'électricité nucléaire) et laissant ainsi des disponibilités pour le transport aérien.

Les biocarburants issus de ressources agricoles de type sucre ou céréale n'ont pas les caractéristiques permettant leur utilisation dans les réacteurs ; en revanche le kérosène de synthèse produit à partir de plantes oléagineuses ou d'autres types de biomasse pourrait être un substitut de celui obtenu à partir du charbon ou du gaz naturel.

**Le kérosène de synthèse constitue aujourd'hui l'unique alternative crédible pour la deuxième moitié du XXI<sup>e</sup> siècle.** Les procédés de production à partir du charbon et du gaz naturel sont bien connus, mais seul le charbon peut apporter le niveau des ressources permettant de satisfaire les besoins du transport aérien ; toutefois les émissions de CO<sub>2</sub> accompagnant la production du kérosène de synthèse exigeront sa captation et son stockage à partir de processus très coûteux.

***Recommandation* : les études et les unités pilotes visant la production du kérosène de synthèse doivent être prises en compte dès aujourd'hui dans la stratégie énergétique à moyen terme.**

2- **Le renchérissement du kérosène (naturel ou de synthèse) entraînera une augmentation des tarifs** et conduira le transport aérien, fortement démocratisé depuis une génération, à redevenir plus élitiste ; le développement du trafic en sera notablement ralenti avec de fortes répercussions sur le niveau des livraisons d'avions.

Le prix du pétrole résulte de la loi de l'offre et de la demande et l'on ne peut durablement agir sur lui. En revanche, les initiatives de taxations en matière d'émissions de CO<sub>2</sub> auront de fortes répercussions sur le transport aérien et il est important d'en mesurer l'impact avant que des décisions ne soient prises et mises en œuvre ; même si de telles taxes étaient assujetties à l'ensemble des émetteurs de CO<sub>2</sub>, leur application au transport aérien pourrait être modulée pour tenir compte de son incapacité à utiliser une autre source d'énergie.

***Recommandation* : avant toute décision, les conséquences de la mise en place d'une politique de taxation du transport aérien au titre de l'environnement devront être mesurées tant au niveau de la satisfaction du besoin individuel de transport que de l'activité du secteur aéronautique.**

**3- The concept of the jet transport aircraft has now come to maturity, which limits its possibilities for improvement: no technological breakthroughs can therefore be expected in terms of direct fuel consumption (potential reduction of 20% for the foreseeable future).**

***On the other hand, an evolution in operations can lead to a reduction of roughly 30% of fuel consumption expressed in terms of kg/km/seat, which would make it possible to achieve the ACARE objectives. However, the measures to be taken (reduction of operating range, capacity, speed and comfort) must be associated with a new conception of the product and all go against passenger satisfaction: is it reasonable to envisage them in the medium term?***

**Recommendation: to prepare the next generation of transport aircraft, which will be in operation in the second half of the 21<sup>st</sup> century, it is essential to pursue reflections on fast propeller propulsion and on an operating range limited to 6 or 7,000 km.**

**4- Moving towards the end of the 21<sup>st</sup> century, the most likely alternative to kerosene would seem to be liquid hydrogen, but the feasibility of the concept for aeronautics still remains to be proven. Moreover, in order for hydrogen to become an acceptable substitute:**

- *it would have to be able to be produced from a non CO<sub>2</sub> emitting source of energy (only nuclear energy fits that bill) and its distribution logistics properly organised;*
- *safety problems linked to the explosive nature of the air-hydrogen mix would have to be resolved.*

**Recommendation: in order to demonstrate its feasibility, studies into hydrogen aircraft must be pursued in order to enable a demonstration model to be built before 2050.**

**3- Le concept de l'avion de transport subsonique à réaction a atteint aujourd'hui une grande maturité** ce qui en limite les possibilités d'amélioration ; il ne faut pas s'attendre à de forts impacts de la technologie sur la consommation : le potentiel de réduction est de l'ordre de 20%.

**En revanche, une évolution de l'exploitation opérationnelle peut conduire à une réduction de l'ordre de 30% de la consommation unitaire exprimée en kg/km/siège**, ce qui permettrait d'atteindre les objectifs ACARE. Toutefois, les mesures envisageables (réduction du rayon d'action, de la capacité, de la vitesse et du confort) doivent être associées à une nouvelle conception du produit et vont toutes à l'encontre de la satisfaction du passagers : est-il raisonnable de les envisager à moyen terme ?

***Recommandation : en vue de la prochaine génération d'avions de transport à exploiter au cours de la deuxième moitié du XXI<sup>e</sup> siècle, il faut poursuivre les réflexions sur une propulsion par hélices rapides et sur un rayon d'action limité à 6 ou 7 000 km.***

**4- L'avion à hydrogène sous forme liquide apparaît aujourd'hui être l'alternative la plus vraisemblable au kérosène** ; en vue d'une application au plus tôt pour la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, la faisabilité du concept aéronautique autorisant son emploi reste encore à démontrer. De plus pour que l'hydrogène devienne une énergie de substitution acceptable il est nécessaire :

- d'en maîtriser la production à partir d'une énergie non émettrice de CO<sub>2</sub> (seule l'énergie nucléaire le permettrait aujourd'hui) ainsi que sa logistique de distribution ;
- de résoudre les problèmes de sécurité liés à l'explosivité du mélange air hydrogène.

***Recommandation : pour en démontrer la faisabilité, les travaux sur l'avion à hydrogène doivent être poursuivis et permettre la réalisation d'un modèle probatoire avant 2050.***

## PRESENTATION OF THE AIR AND SPACE ACADEMY

*In 1983, thirty-five leading figures from the fields of aeronautics and space joined together to form an Academy of Air and Space, on the initiative of André Turcat.*

*The Académie nationale de l’Air et de l’Espace was officially founded in Toulouse, the uncontested capital in these areas, whose municipality has since consistently supported its actions. It was placed under the patronage of the ministers of Industry and Research, Defence, Education and Transport.*

*On 1<sup>st</sup> January 2007, it became the “Air and Space Academy”, its new statutes embracing a European framework since they make no distinction between French and European members.*

### **Objectives**

*Its main mission is:*

*“To encourage the development of high quality scientific, technical and cultural actions in the realms of Air and Space, promote knowledge in these areas and constitute a focal point for activities”.*

*In the course of its work, the Academy organises a range of events: international conferences, forums, lecture cycles, exhibitions, etc. often in collaboration with other academies, associations, institutions, political and economic bodies.*

*It also publishes proceedings, reports, annals, a newsletter and other works. The studies it carries out lead to recommendations dossiers, addressed to the relevant authorities.*

*It also lends its support to various external events.*

### **Partners**

*The Academy’s partners include public or private organisations, educational establishments, companies, etc. Our partners are invited to all sessions, exhibitions, colloquia and other events and receive all our publications.*

*Over and above the financial and material support they provide, our partners constitute an essential link with the realities of the aerospace world and thus contribute to enriching our reflections. In return, the Academy has a duty to objectivity in its deliberations and uses the interface of its wide network of members and associated institutions to encourage suggestions from its partners as to future areas of study.*

### **International presence**

*Whilst continuing to develop its existing network of relationships with French organisations, our Academy is also reinforcing and enriching its international associations, exploring new links with the following:*

- *European and international institutions (European Commission and Parliament, EDA, Eurocontrol, ASD, EASA, ICAO, IATA ...);*
- *the different space agencies (ESA, CNES, ASI, NASA, JAXA ...);*
- *the various European and international aerospace and defence organisations (Association of European Airlines, Council of European Aerospace Societies,*

## PRÉSENTATION DE L'ACADÉMIE DE L'AIR ET DE L'ESPACE

En 1983, trente-cinq personnalités de l'aéronautique et de l'espace ont fondé, à l'initiative d'André Turcat, "l'Académie nationale de l'Air et de l'Espace".

Installée officiellement à Toulouse, capitale sans conteste en ces domaines et soutien de son existence, l'Académie est placée sous le patronage des ministres de l'Industrie et de la Recherche, de la Défense, de l'Éducation nationale, et des Transports.

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2007, elle est devenue "l'Académie de l'Air et de l'Espace" par la modification de ses statuts, qui s'inscrivent dans la continuité, tout en marquant une ouverture vers l'Europe puisqu'ils mettent sur le même plan les Français et les ressortissants européens.

### Sa mission

La mission essentielle demeure :

*"favoriser le développement d'activités scientifiques, techniques et culturelles de haute qualité dans le domaine de l'Air et de l'Espace, valoriser et enrichir le patrimoine, diffuser les connaissances, constituer un pôle d'animation".*

Les objectifs de l'Académie la conduisent à organiser des manifestations variées : congrès internationaux, forums, conférences, expositions, etc., souvent en collaboration avec les mondes académique, associatif, institutionnel, politique et économique.

Elle fait paraître de nombreuses publications : actes de colloques, dossiers, comptes rendus des forums, annales, lettre périodique, ouvrages de culture aéronautique... À l'issue des études qu'elle mène, elle adresse des recommandations aux autorités concernées.

Elle accorde également son patronage à des manifestations organisées en dehors d'elle.

### Ses partenaires

Les partenaires de l'Académie sont des personnes morales, organismes publics ou privés, grandes écoles, entreprises, etc. Ces partenaires, invités à toutes les séances et manifestations de l'Académie, peuvent y déléguer des représentants. Ils reçoivent les publications de l'Académie.

Au-delà des soutiens financiers et matériels apportés, ces partenaires constituent un lien essentiel et concret dans la plupart des aspects des actions et réflexions menées, lesquelles restent ainsi en prise directe avec les réalités du terrain. En retour l'Académie propose des réflexions, recommandations et synthèses en toute liberté d'esprit.

L'Académie, à travers les relations personnelles de ses membres, les séances plénières, les réunions de ses sections et de ses commissions, peut recevoir toutes les suggestions formulées par les partenaires et développer ainsi ses travaux en conséquence.

### Sa présence internationale

Tout en continuant à développer son important réseau de relations avec les académies, institutions et groupements français, l'Académie poursuit une action visant à renforcer et à enrichir ses liens internationaux. De nouvelles voies de collaboration s'ouvrent ainsi avec :

- les institutions européennes et internationales (Commission et Parlement européens, AED, Eurocontrol, ASD, AESA, OACI, IATA ...);

*European Civil Aviation Conference, European Low Fares Airline Association, European GNSS Supervisory Authority, European Regional Airlines, Airports Council International Europe ...).*

### **Members**

*The Academy is composed of 90 to 120 Regular members from European countries, and 20 Associate members (maximum) from countries outside of Europe. It also comprises Honorary members, Correspondents and Emeritus members.*

*Our members are or have been leading players from all walks of aerospace life: scientists, engineers, pilots, astronauts, doctors, manufacturers, economists, lawyers, historians and artists all work together to achieve these essential goals, thereby reinforcing the multidisciplinary nature of the Academy.*

### **Sections and Commissions**

*The Academy's work is carried out mainly within the context of its Sections, each with its particular field of study, and its Commissions, in order to examine wider issues.*

*Regular members belong to different sections according to their type of activity:*

- Section I      Scientific knowledge of Air and Space;*
- Section II     Applied science and technology of Air and Space;*
- Section III    Human presence and activity in Air and Space;*
- Section IV    Ethics, law, sociology and economy of Air and Space;*
- Section V     History, literature and arts of Air and Space.*

*Some commissions are permanent, others are charged with studying specific problems concerning several sections, and with putting forward solutions.*

### **Life of the Academy**

*The Academy generally holds five sessions a year with the aim of encouraging an exchange of ideas concerning important topical issues, and taking collective decisions on possible actions. Each session is preceded by a board meeting.*

*The final session of the year, the Solemn Plenary Session, which traditionally takes place in the Toulouse Town Hall, is the occasion for the Academy to present its prizes and medals to laureates for remarkable achievements in the areas of Air and Space, and to introduce its new members and board of governors.*



- les différentes agences spatiales (ESA, CNES, ASI, NASA, JAXA ...);
- les divers organismes et groupements aérospatiaux et de défense européens et internationaux (Association of European Airlines, Council of European Aerospace Societies, Conférence européenne de l'aviation civile, European Low Fares Airline Association, European GNSS Supervisory Authority, European Regional Airlines, Airports Council International Europe ...).

### Ses membres

L'Académie se compose de 90 à 120 membres titulaires, ressortissants d'États européens, et de 20 membres associés (maximum), ressortissants d'États non-européens. Elle comprend également des membres d'honneur, des correspondants et des membres honoraires.

Ses membres exercent ou ont exercé des responsabilités importantes dans leurs domaines respectifs. Scientifiques, ingénieurs, pilotes, astronautes, médecins, industriels, économistes, juristes, historiens, journalistes et artistes s'y trouvent réunis, affirmant ainsi le caractère multidisciplinaire de l'Académie.

Tous offrent leur expertise pour faire avancer la connaissance dans les divers domaines de l'Air et de l'Espace.

### Ses sections et commissions

Les travaux de l'Académie sont élaborés en priorité par des sections, chacune dans son activité propre, et par des commissions, en général transverses.

Les sections regroupent les membres titulaires par genre d'activité :

Section I	Connaissance scientifique de l'Air et de l'Espace ;
Section II	Science appliquée et technologie de l'Air et de l'Espace ;
Section III	Présence et activité humaines dans l'Air et l'Espace ;
Section IV	Morale, droit, sociologie et économie de l'Air et de l'Espace ;
Section V	Histoire, lettres et arts de l'Air et de l'Espace.

Quelques commissions siègent de façon permanente, d'autres commissions ad hoc sont chargées d'étudier des problèmes spécifiques, intéressant éventuellement plusieurs sections simultanément, et de proposer des solutions.

### Vie de l'Académie

L'Académie se réunit normalement cinq fois dans l'année dont, habituellement, trois fois à Toulouse, une fois à Paris et une fois en un autre haut lieu aéronautique ou spatial en France ou à l'étranger. Chaque séance est précédée d'un bureau chargé de préparer les thèmes à traiter en assemblée, et de s'occuper de l'ensemble des problèmes liés à la vie de l'Académie.

La dernière séance de l'année est une séance solennelle, se déroulant traditionnellement à la Salle des Illustres du Capitole de Toulouse, et au cours de laquelle l'Académie remet son Grand prix, ses médailles, son Prix de droit et économie du transport aérien et spatial et d'autres prix exceptionnels.

## LISTE DES PUBLICATIONS DE L'ACADÉMIE

### PUBLICATIONS LIST

#### Actes de colloques / *Colloquium proceedings*

- La sécurité aérienne, 1984
- Les enjeux de la stratosphère, 1985
- La sécurité aérienne, 1986
- La stabilité, 1987
- La sécurité aérienne et spatiale, 1988
- L'avenir du transport aérien à haute vitesse, 1989
- Gestion de la circulation aérienne, 1990
- Les apports de la conquête spatiale à l'humanité, 1991
- La corrélation, 1991
- La sécurité de l'aviation légère, 1992
- L'avenir de l'aviation de transport de fret, 1993
- Espace, aéronautique et environnement atmosphérique, 1994
- Le système transport aérien : intégration équipage et contrôleurs, 1994
- Aéroports du futur, 1995
- La mécanique, 1996
- Aspects juridiques et financiers de la sécurité aérienne, 1997
- Médias et sécurité dans le transport aérien, 1998
- Sécurité de la circulation aérienne : augmenter capacité et sécurité dans le trafic européen ?, 2000
- L'Europe et les débris spatiaux, CDRom, 2003
- Formation des ingénieurs ; aéronautique et Espace, CDRom, 2004
- Les apports de l'Espace dans le progrès de la connaissance et de la gestion humaniste de la planète, CDRom, 2004
- *Aircraft and ATM Automation*, CDRom, 2006
- Hélicoptères : missions et perspectives, CDRom, 2006
- *Air Transport and the Energy Challenge*, CDRom, 2007

#### Dossiers

Pour la liste des dossiers déjà parus, voir page 3 / *For a list of dossiers, please see page 3.*

### **Les Forums / Forum collections**

- Vol. 1 : Relation homme-machine dans l'Aéronautique : juin 1996 - janvier 1998, 1998
- Vol. 2 : Relation homme-machine dans l'Espace : décembre 1996 - janvier 1998, 1999
- Vol. 3 : Intégration homme-systèmes dans l'Aéronautique : septembre 1998 - janvier 2003, CDRom, 2004

### **Ouvrages de culture aéronautique / General works**

- Le Nouveau Dédale, de Jean-Jacques Rousseau, 1801, réédition 1987
- Les Progrès de l'aviation par le vol plané, de F. Ferber, 1907, réédition 1987
- La Vie de l'avion commercial, sous la direction de P. Vellas, 1990
- Au temps de Clément Ader, sous la direction de P. Lissarrague, 1994
- Espace, science et médecine, 1994
- Coopération internationale entre industries aéronautiques et spatiales / *International cooperation between aerospace industries*, 1995
- Lettre-préface par Robert Esnault-Pelterie à l'Histoire Comique ou Voyage dans la Lune de Cyrano de Bergerac, réédition 1997
- Impact de la flotte aérienne sur l'environnement atmosphérique et le climat, rapport en collaboration avec l'Académie des sciences, 1997
- Joseph Czinczenheim tel que nous l'avons connu. Témoignages, 1998
- Ciel des Hommes, anthologie, choix et présentation des textes par Lucien Robineau, le cherche midi éditeur, 1999
- Henri Ziegler : Hommages et témoignages, 1999
- Un système de positionnement "Galileo"; un enjeu stratégique, scientifique, technique, 2003 / *A positioning system, Galileo: strategic, scientific and technical stakes* (2004)
- Dictionnaire historique des Français du Ciel, le cherche midi éditeur, 2005

### **Abonnement / Subscription**

Un abonnement permet de recevoir toutes les publications de l'Académie, ainsi qu'une information sur ses activités (colloques, séminaires, séances publiques et autres manifestations), auxquelles on peut participer à des conditions préférentielles (s'adresser au secrétariat).

*You can receive all the year's publications by subscription, as well as full information on our various activities. Please contact our secretarial staff for details.*





**L**e déclin progressif de la production pétrolière mondiale à partir d'un "pic" envisagé entre 2010 et 2030 entraînera dans un avenir proche une raréfaction et un renchérissement du pétrole ; cette hausse de prix sera amplifiée par la mise en place de taxes associés aux émissions de carbone. De telles évolutions affecteront profondément le développement du transport aérien, d'autant plus qu'il n'existe aujourd'hui aucune alternative à l'utilisation du kérosène produit à partir du pétrole ou obtenu par synthèse.

L'Académie de l'Air et de l'Espace, en collaboration avec l'Association Aéronautique et Astronautique de France et l'Académie des technologies, a organisé en 2006 un colloque international destiné à faire le point sur ces questions et d'en mesurer les conséquences sur le transport aérien, la conception du produit et l'avenir de la construction aéronautique civile.

Le présent dossier de l'Académie constitue une synthèse des exposés, en reprend les principales conclusions et présente ses propres recommandations sur le sujet.

*A progressive decline in world oil production, following a peak around 2010-2030, will result in an oil shortage and rising prices in the near future. Moreover, taxes on carbon emissions will push costs up even further. The future development of air transport will be radically affected, all the more acutely since for the moment no alternative is available to the use of kerosene produced from oil or synthetically.*

*The Air and Space Academy, in collaboration with the Association Aéronautique et Astronautique de France and the Académie des Technologies, held an international conference in 2006 to take stock of the situation and gauge the impact on air transport, product design and the future of civil aircraft manufacturing.*

*The present dossier provides an overview of talks and the main conclusions of the colloquium and formulates recommendations.*

## ACADÉMIE DE L'AIR ET DE L'ESPACE

Ancien Observatoire de Jolimont

BP 75825 - 31505 Toulouse cedex - France

Tel : +33 (0)5 34 25 03 80 - Fax : +33 (0)5 61 26 37 56

Email: [anae@anae.fr](mailto:anae@anae.fr) - Internet: [www.anae.fr](http://www.anae.fr)