

n° 2004-0217-01

mars 2005

Maîtrise des émissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile

Rapport élaboré dans le cadre d'un groupe de travail
interministériel présidé par Jean-Pierre GIBLIN



Ministère de l'Équipement, des Transports, de l'Aménagement du Territoire,
du Tourisme et de la mer

Avant-propos

Ce rapport a été rédigé avec le concours actif des membres du groupe de travail inter-administration constitué conformément aux termes de la lettre de mission (Annexe 1) et qui en a validé l'analyse et les propositions.

La première partie doit beaucoup à Elisabeth Bouffard-Savary et Antoine Grelet qui ont assuré aussi le secrétariat et le compte-rendu de nos réunions ; la seconde et la cinquième parties ont bénéficié des apports de Dominique Gardin.

Ilangovane Tambidoré et Denis Roux ont apporté leur contribution à la troisième partie. Aurélie Viellefosse, Henri Lamotte, Jean-Christophe Boccon Gibod, Grégoire Marlot ont fourni l'essentiel des analyses et propositions de la quatrième partie. Jean-Luc Lesage a assuré la rédaction du résumé du rapport.

Nos remerciements vont à l'ensemble des personnalités rencontrées (Annexe 2) pour le temps qu'elles ont bien voulu nous consacrer et pour l'apport de leurs réflexions. Ces entretiens ont été préparés avec efficacité par les représentants de la Direction Générale de l'Aviation Civile.

Jean-Pierre GIBLIN

Sommaire

Avant-propos	1
Introduction	6
Résumé du rapport.....	8
Synthèse des recommandations.....	16
1. La contribution du transport aérien au changement climatique	18
1.1 Descriptions du phénomène de l'effet de serre	18
1.2 Le rôle des émissions autres que le gaz carbonique	19
1.3 État des lieux	20
A) <i>Les émissions de gaz à effet de serre dans le monde</i>	20
B) <i>Contribution du transport aérien aux émissions mondiales</i>	22
C) <i>Contribution du transport aérien européen</i>	23
D) <i>Les émissions de CO₂ du transport aérien de la France</i>	23
1.4 Croissance du secteur et évolution des émissions : les enjeux de long terme	25
A) <i>Les perspectives d'évolution au niveau mondial</i>	25
B) <i>Les perspectives d'évolution des émissions du transport aérien de la France</i>	27
2. Le transport aérien dans le contexte des accords internationaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre	29
2.1 Le transport aérien et le protocole de Kyoto	29
2.2 Les orientations européennes	29
A) <i>Les positions des instances européenne</i>	29
B) <i>Les positions des États membres en matière de lutte contre le changement climatique</i>	30
2.3 La position de l'OACI sur les efforts de réduction des émissions	30
A) <i>Le rôle de l'OACI en matière de protection de l'environnement</i>	30
B) <i>L'isolement de l'Europe à la 35^{ème} assemblée de l'OACI</i>	31
3. Quelles voies de progrès pour réduire les émissions de GES ?.....	33
3.1 L'action des compagnies.....	33
A) <i>L'optimisation des consommations de carburant</i>	33
B) <i>Le renouvellement des flottes</i>	34
C) <i>Les propositions de l'Association des compagnies européennes (AEA)</i>	35
3.2 La gestion du trafic aérien et des aéroports.....	35
A) <i>Amélioration de l'ATC et optimisation des routes</i>	35
B) <i>La gestion des aéroports</i>	36
3.3 Substitution modale et mobilité durable.....	37
3.4 L'action de l'industrie : performances environnementales des avions et des carburants.....	39
A) <i>Les avions et les moteurs</i>	39
B) <i>L'amélioration du kérosène, les biocarburants et le kérosène de synthèse</i>	44
4. Les instruments de réduction des émissions : normes, engagements volontaires et mesures incitatives.....	49
4.1 Les normes	50
A) <i>Les normes sur les émissions d'oxydes d'azote (NOx)</i>	50
B) <i>Les normes relatives à la composition des carburants</i>	50
4.2 Les accords volontaires	51
4.3 Les taxes et redevances.....	52
A) <i>La taxation du kérosène</i>	52

B) <i>La taxation des billets</i>	55
C) <i>Les redevances d'atterrissage : support à l'internalisation des nuisances locales</i>	55
D) <i>Les redevances de route</i>	56
4.4 <i>Les marchés de permis d'émission</i>	57
A) <i>Le marché de permis est un instrument économique efficace déjà utilisé par l'Union européenne</i>	57
B) <i>Le cadre international en vigueur autorise l'Union européenne à recourir à un marché de permis partiellement intégré</i>	57
C) <i>Recommandations pour l'inclusion du transport aérien dans le marché européen dès 2008</i> .	58
D) <i>Une inclusion du transport aérien dans le marché européen dès 2008 ne devrait pas contraindre l'Union à des aménagements trop importants en cas d'avancée sur le plan international</i>	60
4.5 <i>Analyse comparative des différents mécanismes d'incitation</i>	60
5. Comment progresser au niveau européen et international ?	65
5.1 <i>Orientations générales</i>	65
5.2 <i>Recommandations spécifiques</i>	66
A) <i>Les accords volontaires</i>	66
B) <i>L'approfondissement des connaissances scientifiques</i>	66
C) <i>Le progrès technique : actions en matière de recherche, objectifs de performance, normes et réglementation</i>	67
D) <i>L'usage des instruments économiques</i>	67
6. Conclusion	69

Table des illustrations

Tableau 1 :	Description du phénomène d'effet de serre.....	18
Tableau 2 :	Forçage radiatif des aéronefs.....	20
Tableau 3 :	Émissions de gaz à effet de serre par zone géographique	21
Tableau 4 :	Émissions de gaz à effet de serre : les chiffres clés.....	21
Tableau 5 :	Émissions mondiales de CO ₂ du transport aérien mondial.....	22
Tableau 6 :	Répartitions géographiques des émissions de CO ₂ de l'aviation civile en 1997.....	23
Tableau 7 :	Émissions de gaz à effet de serre du trafic aérien de la France	23
Tableau 8 :	Émissions des vols commerciaux de la France	24
Tableau 9 :	Projection des émissions de CO ₂ de l'aviation commerciale	25
Tableau 10 :	Projection en 2010 des émissions de CO ₂ de l'aviation commerciale de l'Union européenne	25
Tableau 11 :	Estimation des émissions de CO ₂ de l'aviation en 2010	26
Tableau 12 :	Projection en 2050 des émissions de CO ₂ de l'aviation (FESG).....	27
Tableau 13 :	Lignes à grande vitesse dans le monde	38
Tableau 14 :	Évolution de la consommation par passager-kilomètre-transporté	40
Tableau 15 :	Évolution de la consommation spécifique minimale en croisière	40
Tableau 16 :	Le compromis CO ₂ – NOx	41
Tableau 17 :	Émissions de CO ₂ du puits à la roue pour des carburants synthétiques avec des véhicules de 2010.....	47
Tableau 18 :	Coûts de production des biocarburants	47
Tableau 19 :	Impact d'une taxation du kérosène sur la demande, en fonction du prix du pétrole ...	54
Tableau 20 :	Impact de la taxation du kérosène en 2010	62
Tableau 21 :	Impact d'un marché de permis en 2010	63

Introduction

Le présent rapport répond à la commande du ministre de l'équipement et du secrétaire d'Etat aux transports qui, par lettre en date du 10 septembre 2004 (Annexe 1) m'ont chargé d'animer un groupe de travail sur la maîtrise des émissions de gaz à effet de serre (GES) du transport aérien. Cette question n'avait pu être complètement traitée dans le cadre de l'élaboration du Plan climat (Réf.1) et il avait été convenu qu'il revenait au ministère chargé des transports de l'approfondir.

Dans les trente dernières années le trafic aérien en France (intérieur, intra européen, international) a été multiplié par quatre et le trafic mondial davantage encore. Cette croissance qui résulte de la mobilité croissante des personnes et des marchandises à longue distance est appelée à se poursuivre. Les experts du secteur estiment qu'à l'horizon de 2050 le trafic mondial pourrait être encore multiplié par quatre.

En dépit des progrès d'efficacité énergétique constatés depuis trente ans, qui résultent de la sensibilité très élevée des compagnies aériennes à la consommation de carburant, l'impact climatique des émissions du transport aérien pourrait plus que tripler d'ici à 2050¹ alors que dans d'autres secteurs il pourrait, compte tenu des politiques suivies, se stabiliser ou se réduire dans des proportions importantes (l'objectif d'une division par 4 des émissions totales des pays industrialisés a été évoquée à plusieurs reprises, notamment lors des travaux du Plan Climat). Dans certains scénarios contrastés la part du transport aérien pourrait atteindre dans les pays développés 20 à 30 % des émissions d'origine anthropique. De marginal l'impact relatif du transport aérien deviendrait alors très important.

Le protocole de Kyoto a exclu pour l'essentiel le transport aérien de son champ d'action, les Etats signataires n'endossant que la responsabilité de leur transport intérieur. Même si le principe de l'inclusion de l'aviation civile internationale dans un système d'échange de quotas d'émissions a été adopté à l'unanimité par l'assemblée de l'OACI en 2001 et réaffirmé en 2004, les travaux de cette organisation ont révélé les difficultés d'un accord sur la mise en place au niveau international de mesures concrètes propres à maîtriser la croissance des émissions venant notamment de pays qui n'ont pas ratifié le protocole de Kyoto ou sont hors de son champ d'application.

Il est fort probable aussi que certains acteurs du secteur aérien n'ont pas pris encore la mesure des menaces associées au changement climatique mais il serait peu acceptable que ce secteur, une fois cette prise de conscience opérée, se considère, du seul fait de sa spécificité, exonéré de prendre une juste part à un effort collectif qui devra concerner toutes les activités et tous les habitants de notre planète.

En particulier, ni l'appréciation positive qu'on peut porter sur le développement des échanges entre les peuples, les pays et les continents dans un monde menacé par le repli identitaire, ni la forte concurrence sur un marché mondial que connaissent aussi d'autres branches d'activité ne saurait dispenser ce secteur de rechercher tous les moyens d'infléchir la croissance de ses émissions. Faute de quoi de très fortes contraintes viendraient ultérieurement peser sur son développement.

¹ Le rapport de 1999 du groupe international d'experts sur le climat (IPCC) indiquait que « dans le cas du scénario de référence, le forçage radiatif (i.e. l'impact total sur l'effet de serre) des aéronefs en 2050 est 3,8 fois la valeur de 1992 » (Réf.2).

Le défi est donc double pour la France et l'Union européenne : d'une part concevoir un ensemble de mesures et d'engagements qui soient efficace pour la maîtrise des émissions sur l'ensemble de la planète et équitable pour être acceptable par toutes les parties, d'autre part montrer la voie en mettant en œuvre certaines de ces mesures à l'échelle de l'Europe, sans pénaliser sa compétitivité, avec la perspective d'un élargissement ultérieur à l'ensemble du monde.

Le groupe de travail a procédé pour établir son analyse et élaborer ses propositions à de nombreuses auditions tant en France qu'en Europe (Annexe 2).

Le présent rapport fournit dans sa première partie des éléments de diagnostic sur le niveau actuel des émissions du secteur à différentes échelles géographiques, sur leur évolution depuis une trentaine d'années en relation avec l'augmentation du trafic aérien et sur les perspectives à moyen et long terme.

Dans sa deuxième partie il donne les éléments de contexte international, tant en ce qui concerne la place du secteur vis-à-vis du protocole de Kyoto que les initiatives de l'Union européenne et les débats à l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI).

Dans sa troisième partie il examine les voies de progrès et marges de manœuvres techniques et opérationnelles qui pourraient être mobilisées pour lutter plus efficacement contre les émissions de GES.

La quatrième partie est consacrée à l'examen des outils incitatifs, réglementaires (normes) et économiques de nature à accélérer les évolutions nécessaires.

Enfin dans une dernière partie le rapport examine les initiatives à prendre au niveau européen et international et la manière de les mener à bien.

Résumé du rapport

Le 10 septembre 2004, le ministère de l'équipement et le secrétaire d'Etat aux Transports et à la Mer ont confié à Jean-Pierre GIBLIN (Président de la 3^{ème} Section - Affaires scientifiques et techniques - au Conseil Général des Ponts et Chaussées) une mission sur la maîtrise des émissions de gaz à effet de serre du transport aérien dont le but était, sur la base d'un bilan prospectif du sujet, de proposer des mesures pour l'aviation, sur lesquelles la France pourrait engager des initiatives au plan international dans un proche avenir.

La mission a pu être menée rapidement à son terme grâce au concours actif d'un groupe de travail constitué de représentants des départements concernés des ministères de l'Economie et des Finances, de l'Ecologie et du Développement Durable, et de l'Equipement.

Le présent résumé est rédigé à l'attention des décideurs ou des lecteurs pressés mais il est vivement recommandé à un lecteur plus attentif de se référer au détail du rapport pour mieux pénétrer et comprendre les éléments d'un problème assez redoutable en soi : inscrire le développement programmé du transport aérien dans l'objectif global de maîtrise des émissions de gaz à effet de serre.

Le groupe a examiné successivement :

- la contribution du transport aérien au changement climatique,
- les perspectives d'évolution des émissions et des performances du secteur,
- les voies possibles de progrès pour réduire les émissions de gaz à effet de serre de l'aviation,
- la portée et la faisabilité au plan international des mesures étudiées.

Il a, en conclusion, formulé un ensemble de propositions et de recommandations qui doivent permettre à la France et à l'Europe d'apporter une contribution tangible, et volontariste, du transport aérien à la lutte contre le réchauffement climatique.

1 – La contribution de l’aviation au réchauffement climatique

Le groupe s’est d’abord interrogé sur l’importance relative à accorder aux différents gaz à effet de serre émis par l’aviation.

Le gaz carbonique tient une place essentielle parce que sa durée de vie est très longue - de l’ordre du siècle - et que l’aviation ne produit pas directement d’autres gaz à effet de serre parmi les six gaz recensés par le protocole de Kyoto.

Cependant, les moteurs d’avions émettent d’autres gaz, et notamment de la vapeur d’eau, qui ont un fort impact sur le réchauffement climatique, du fait de leur production à haute altitude par les avions. On estime que le pouvoir radiatif (ou réchauffant) de ces gaz est 2,7 fois plus élevé que celui du CO₂ lui-même et s’ajoute à celui-ci. Les mécanismes de formation des nuages de haute altitude dans le sillage des avions (*contrails*) ou sous forme de voile nuageux (*cirrus*) sont mal connus, il importe néanmoins, d’une part, de poursuivre des efforts de connaissance et de compréhension de ces phénomènes, d’autre part et sans doute, d’envisager des mesures préventives qui, en première étape, porteraient sur la composition du carburéacteur (voir plus loin).

Les émissions de l’aviation ne représentent que 2,0% des émissions mondiales de gaz à effet de serre et 2,5% des émissions de CO₂. En Europe, le volume des émissions de CO₂ du transport aérien en 2002 est estimé à 119 millions de tonnes pour 746 millions de passagers transportés : il se répartit en 16% attribuable au transport intérieur aux Etats-membres, 29 % au trafic entre Etats-membres et 56 % au trafic international avec des Etats-tiers².

Dans le monde, plus de la moitié de ces émissions est due au transport aérien *international* et les préoccupations des responsables proviennent de ce que :

- la croissance de ce transport international est supérieure à celle du reste de l’économie,
- le transport international n’est pas couvert par le protocole de Kyoto et par l’objectif affiché de stabilisation voire de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

En conséquence, à très long terme (2050), même si le taux de croissance des émissions (+1,7 % par an) de CO₂ est inférieur à celui du trafic (+3,1 %), on peut s’attendre que les émissions de CO₂ de l’aviation seraient - *sans une attention particulière* - multipliées par 3 entre 1990 et 2050³, alors que l’objectif sur les autres émissions d’origine humaine est une réduction par deux et bien davantage encore dans les pays industrialisés.

2 - La situation internationale

L’OACI constitue un cadre naturel d’étude et de décision portant sur l’aviation internationale et l’environnement ; de plus elle se trouve de plus de façon explicite saisie de la question par l’article 2.2 du protocole de Kyoto et a donc confié au groupe spécialisé CAEP (Comité de la Protection de l’Environnement en Aviation) l’étude des divers outils économiques (*Market Based Options*) adaptés à la maîtrise des émissions gazeuses.

² Source : Eurocontrol.

³ de 550 millions de tonnes en 1990 à 1,5 milliard en 2050.

Ce groupe a produit des évaluations techniques et d'impact des mesures proposées, à l'origine de la Résolution 33-8 (appendice I) de l'Assemblée de l'OACI d'octobre 2000 qui « entérine l'élaboration d'un système ouvert d'échange des droits d'émission dans l'aviation internationale⁴ »

L'Union européenne pour sa part a oscillé entre plusieurs attitudes. La Commission a d'abord recommandé en 1996 la taxation du kérosène en Europe, mais, au vu d'une étude fondée sur l'utilisation du modèle AERO (Pays-Bas) qui soulignant face à une taxation les risques de dégradation de la position concurrentielle des compagnies européennes, elle s'est orientée en 2001 vers l'instauration d'une redevance environnementale sur l'aviation. Présentant ce projet, l'Union européenne s'est heurtée à la 35^{ème} Assemblée de l'OACI (octobre 2004) à une opposition résolue de nombreux Etats pour différer toute introduction unilatérale dans une partie du monde de tout instrument du type taxe ou redevance sur les émissions de gaz à effet de serre.

En tout état de cause, l'inertie des organismes internationaux et le manque de motivation voire l'opposition de certains grands pays, commandent d'agir au plan européen, et au-delà et de façon ciblée, avec les pays en mesure de fournir une réponse technologique aux problèmes environnementaux de l'aviation.

3 - Quelles voies de progrès ?

Le groupe a examiné les actions que pourraient entreprendre les acteurs (compagnies, opérateurs, industriels) en vue de réduire la progression des émissions de GES. Il s'agit de mesures opérationnelles et de progrès technologiques qui ne pourront être qu'accélérés par des dispositifs normatifs ou économiques abordés plus loin.

3.1. *Les compagnies aériennes* sont très attentives à la gestion du carburant consommé car celui-ci constitue un poste de coût important⁵. Outre les mesures opérationnelles simples d'optimisation des performances, de bonne gestion des ressources, le facteur le plus efficace est le renouvellement de la flotte, les avions modernes consommant de 20 à 40% de moins que leurs prédécesseurs de 20 ou 30 ans plus anciens ; il y a malheureusement peu à attendre à court terme de ce facteur au niveau européen, la flotte des compagnies européennes étant parmi les plus modernes avec celles des compagnies asiatiques. Il n'empêche que tout signal sur le prix de l'énergie ou se référant à la performance énergétique des avions aurait un effet direct ou indirect bénéfique sur le renouvellement des flottes, dont il n'est cependant pas toujours facile de mesurer l'ampleur. Il est en outre probable que le maintien du prix élevé du pétrole brut (supérieur à 40\$ le baril, dans la décennie en cours) constitue à lui seul un aiguillon important au renouvellement des flottes.

3.2. Il y a peu d'impact en revanche à attendre pour la réduction des émissions résultant des progrès en matière *de gestion du trafic et des aéroports*. La réorganisation récente de l'espace aérien français (notamment l'approche des aéroports parisiens) et de l'espace supérieur européen (réduction des séparations verticales) ont absorbé une large part des progrès escomptés dans la décennie 2000. Les progrès envisagés n'amèneront à l'horizon prévisible (2020) que quelques pour cent de réduction des

⁴L'Assemblée note « qu'il ressort des analyses (de CAEP) qu'un système ouvert d'échange des droits d'émission constitue une mesure économique efficace pour la réduction ou la limitation des émissions de gaz carbonique provenant de l'aviation civile ».

⁵ environ 13 à 15% du coût total pour Air France, jusqu'à 20% pour les compagnies à bas coûts ou celles utilisant des avions anciens en période de pétrole cher.

consommations en vol ou au sol des avions, du moins en Europe. Il importe néanmoins de ne pas laisser ces acteurs à l'écart de l'effort de réduction des émissions car ils ont une action indirecte, par le biais des normes locales ou des redevances en général, sur la modernisation des flottes. Il convient de fédérer ces acteurs dans un effort, au niveau français et européen, pour les engager volontairement sur un ensemble d'actions à mener dans les 10 ans à venir, complémentaires de celles menées par les compagnies aériennes (recommandation n° 1).

3.3. En ce qui concerne *la substitution modale du TGV au transport aérien*, les effets de substitution ont été ou seront largement engrangés avec les lignes LGV en service ou en projet d'ici à 2020 : ainsi en 2020 on estime à 7 % le volume de réduction des émissions du transport intérieur ainsi réalisée. Les gains possibles grâce au développement du TGV en Europe ne sont pas à la hauteur du défi lancé à long terme au transport aérien.

3.4. En revanche, *l'industrie aéronautique* tient entre ses mains les réponses à long terme quant à l'amélioration des performances environnementales de l'aviation, pour les moteurs et les avions. Si l'industrie a réalisé dans les quarante dernières années, des progrès considérables en matière de réduction de la consommation spécifique par unité de trafic, elle est face à un nouveau défi : réduire tout à la fois le bruit, les émissions d'oxydes d'azote (NOx) et les émissions de gaz carbonique. Malgré des compromis difficiles à opérer entre ces divers objectifs, l'industrie européenne propose au travers du programme ACARE une amélioration d'efficacité énergétique de 40 % à l'horizon 2020.

Le présent rapport souligne l'intérêt, vital pour l'Europe, de retenir cette proposition comme base d'un programme européen ambitieux dans le cadre du 7^{ème} PCRD. Il paraît légitime que le soutien à la recherche aéronautique soit dorénavant prioritairement ciblé sur des objectifs de politique environnementale, objectifs qui n'apparaissent plus aujourd'hui comme antinomiques avec les préoccupations de compétitivité économique, bien au contraire (cf. recommandation n°2). La décision récente de trouver une solution négociée au conflit Europe - Etats-Unis sur les aides d'Etat consenties à Airbus ou Boeing constitue une circonstance très favorable pour remettre à plat un système qui n'a pas d'équivalent dans les autres secteurs d'activité.

L'amélioration de la formule du kérosène, l'introduction des biocarburants ou de kérosène de synthèse ont été étudiées. Parmi les « impuretés » du carburéacteur, figurent deux composants ayant un rôle admis⁶ dans la formation des traînées de condensation :

- a) les composés aromatiques (HAP) dont la combustion produit plus de particules que les hydrocarbures de base du kérosène,
- b) le soufre dont la combustion est à l'origine de noyaux de condensation de la vapeur d'eau.

Pour ce dernier, la norme⁷ est très supérieure à celle admise pour le carburant automobile. Il convient donc d'engager sans délai les travaux au niveau européen et mondial (OACI) sur la réduction du taux de soufre et des composés aromatiques dans le kérosène, sans arguer de l'incertitude qui pèse encore sur l'importance de l'impact indirect du SO₂ et des particules sur l'effet de serre.

Un autre volet que suggère un parallèle avec les carburants automobiles, concerne l'inclusion de biocarburants dans la fabrication du kérosène. Il apparaît que les carburants aujourd'hui produits

⁶ cf. : travaux du GIEC.

⁷ La teneur maximale en soufre du carburéacteur est de 0,3% ; pour l'automobile, elle est de 0,005% depuis le 1^{er} janvier 2005.

s'adaptent mal en général à l'aviation (pouvoir énergétique inférieur par unité de masse, point éclair trop bas, surcoût non défiscalisable) ; par contre, l'inclusion de kérosène issu du procédé BTL (*biomass to liquid*) permettrait de réduire significativement les émissions nettes de CO₂ du transport aérien.

Un dernier point important concerne *le financement de la recherche et développement* sur les objectifs environnementaux au niveau national et européen. Le rapport suggère les voies suivantes (cf. : recommandation n° 3) :

- le redéploiement des moyens budgétaires et un accroissement éventuel à justifier dans le cadre du PCRD accompagnant l'effort propre des industries aéronautiques et pétrolières,
- un abondement financé par le produit des outils économiques visés au point 4 via une « fondation européenne » pour la recherche aéronautique.

4. Les instruments de réduction des émissions

Les pouvoirs publics disposent de trois types d'instrument pour atteindre un objectif de réduction de la pollution : des normes, des engagements volontaires et des instruments économiques (taxes, redevances, marché de permis).

4.1. *Les normes* et les engagements de performance ont fait la preuve de leur efficacité en aviation, dans les problèmes de bruit où elles ont permis de débarrasser les aéroports européens des avions non conformes, dans l'automobile où elles ont entraîné les constructeurs dans une recherche accrue des performances énergétiques des véhicules. Peuvent-elles être efficaces en matière de pollution atmosphérique.

Une norme en matière de consommation spécifique apparaît avoir un intérêt limité car cette consommation a, sous l'effet propre de la concurrence entre motoristes, fait des progrès considérables (réduction de 40%) depuis les années 1970.

En revanche une action sur les normes d'émissions de NOx semble adaptée : non seulement la technologie est disponible mais une réduction aurait un effet bénéfique tant au niveau local qu'en haute altitude, sur la couche d'ozone.

4.2. *Les accords volontaires* ont produit des effets technologiques bénéfiques dans l'industrie automobile et dans l'aviation, mais ils semblent aujourd'hui insuffisants - à tout le moins à eux seuls - pour permettre les avancées technologiques indispensables.

Par contre, il semble utile d'en utiliser la démarche, au plan européen et mondial, pour avancer concrètement vers la définition de normes, ou d'objectifs de performances, d'explicitation des compromis (*trade off*) entre les diverses performances environnementales recherchées, et dans un avenir rapproché, l'amélioration de la composition du kérosène et l'incorporation, à plus long terme, de biokérosène (cf. : recommandation n°4).

4.3. Les instruments économiques (taxes et redevances) sont un moyen particulièrement adapté de lutte contre les émissions car l'évolution des normes et des progrès technologiques ne pourra que réduire le taux de progression des émissions sans la stopper.

La taxation la plus souvent citée est celle sur le kérosène et elle constitue avec le marché des permis l'instrument le plus efficace de réduction des émissions. Une taxe efficace au sens environnemental, serait d'une mise en œuvre aisée, elle agit essentiellement par un effet prix sur la demande.

Cependant, une taxation internationale se heurte à de nombreux obstacles juridiques, notamment l'exonération de carburant (sur une base de réciprocité) par les accords aériens bilatéraux, et elle doit affronter l'hostilité d'une très grande majorité d'Etats, hors d'Europe voire en Europe, à la levée de ce privilège. La taxation du kérosène pour les vols intracommunautaires poserait un problème de distorsion de concurrence sur ce marché avec les compagnies des pays tiers - fort présentes sur le marché du fret - dont pâtiraient sans doute les compagnies européennes ; elle pourrait avoir des effets pernicieux aux frontières de l'Union par un phénomène de « tankering »⁸. Enfin, si un marché des permis existe par ailleurs, il permet d'arriver au même niveau de réduction des émissions à un coût nettement moindre pour le secteur qu'une taxation environnementale.

Une taxation des billets aériens est sans lien avec les performances énergétiques des avions et n'aurait pas d'effet vertueux sur la consommation, sauf pour la baisse de la demande globale qu'elle provoquerait..

Les redevances sont un instrument permettant l'internalisation des dommages environnementaux, en particulier au plan local. La modulation des redevances d'atterrissage en fonction du taux de NOx émis par l'avion, telle qu'elle a été mise en œuvre en Suisse et en Suède, doit rester du ressort local. En revanche, *la modulation des redevances de route* en fonction du niveau de CO₂ émis par l'aviation est une voie préconisée par le rapport. Elle exige de mettre au point au niveau européen un indice d'efficacité énergétique des avions.

Un autre projet examiné est l'instauration d'une redevance environnementale additionnelle de route liée au volume d'émissions de CO₂ émis ; dont le montant - faible - serait affecté au financement de la recherche et développement.

Les permis d'émission applicables à l'aviation internationale ont été considérés par l'OACI comme le moyen le plus efficace de limiter les émissions de CO₂ du secteur. Le marché de permis d'émissions de CO₂ est un mécanisme nouveau mis en place en Europe au 1er janvier 2005, dans le cadre du protocole de Kyoto, pour les installations industrielles ; le protocole de Kyoto n'interdit pas à d'y inclure les émissions du transport aérien selon un système semi-ouvert⁹. Nous recommandons donc clairement l'inclusion du transport aérien dans le marché européen de permis dès 2008. Le Royaume-Uni souhaite en faire adopter le principe lors de son mandat de Président de l'Union européenne au 2^{ème} semestre 2005. Il conviendra ensuite de définir les modalités et mécanismes d'introduction et de gestion de ce système pour l'aviation :

⁸ approvisionnement et emport de carburant excédentaire, à partir des pays limitrophes ne pratiquant pas la taxation.

⁹ Ce qui signifie que le transport aérien pourrait acheter des permis aux autres secteurs mais pas l'inverse.

- en ce qui concerne l'attribution de quotas, il est recommandé de procéder à une allocation directe aux compagnies aériennes sans passer par une attribution aux Etats, pour éviter notamment les distorsions de concurrence entre transporteurs.

- de même, convient-il de fonder les allocations initiales à partir d'un benchmark technologique ou au prorata des tonnes –kilomètres commerciales, pour ne pénaliser les compagnies aujourd'hui les plus efficaces.

Au delà, il conviendra que l'Union européenne agisse pour intégrer le secteur de l'aviation civile domestique et internationale dans le dispositif post-Kyoto en s'appuyant sur les résolutions déjà prises par l'OACI, et étendre progressivement à cette fin le dispositif de permis d'émission négociables mis en place par l'Union européenne aux pays industrialisés ou (et) disposant de compagnies de premier rang (cf. : recommandation n° 6).

En résumé, il convient de mettre en place au niveau intraeuropéen l'outil économique le plus approprié avec la perspective d'un élargissement au niveau mondial, les préférences allant (cf. : recommandation n°5) dans l'ordre décroissant vers :

- l'inclusion du transport aérien dans le marché européen de permis portant sur le CO₂ ;
- la modulation des redevances de route en fonction des émissions de CO₂ des avions ;
- une taxe sur le kérosène consommé sur les vols intra-communautaires ;
- une taxe sur les billets d'avion.

5. Comment progresser au niveau européen et international?

Sur la base des analyses et propositions précédentes, il importe de mettre en œuvre une action internationale coordonnée. L'échec de l'Union européenne à la dernière assemblée de l'OACI montre qu'il est important au préalable à tout retour sur la scène mondiale, et sans tarder, d'engager des discussions avec les partenaires mondiaux les plus importants, afin d'explorer les points d'entente possibles et de faire progresser la lutte contre l'effet de serre.

5.1 L'Union européenne doit jouer un rôle moteur et précurseur : encore faut-il qu'elle ait une politique et un calendrier. La politique européenne doit mobiliser l'ensemble des acteurs (constructeurs, opérateurs, recherche et pouvoirs publics) car l'action doit utiliser tous les registres et toutes les instances. Il serait trompeur et dangereux de laisser penser qu'un seul des outils - par exemple les permis d'émission - peut répondre au défi posé.

Il existe une opportunité à saisir au cours de l'année 2005 d'élaborer une politique européenne et de renouer le dialogue avec les Etats-Unis.

5.2 Il convient que l'Europe dans toutes ses instances (cf. : recommandation n°7), voire celles de la CEAC, s'engage dans chacune des actions proposées :

- soutenir les actions de recherche sur les traînées de condensation et les cirrus, si possible dans le cadre d'un partenariat avec les Etats-Unis ;

- mobiliser solidairement les acteurs au niveau européen, dans le cadre d'un ou plusieurs accords volontaires ; une première initiative serait la recherche d'un accord volontaire sur les objectifs de performance énergétique par type d'appareil ;
- définir, en partenariat avec les Etats-Unis, des objectifs clairs pour le long terme notamment quant aux arbitrages à opérer entre réduction des polluants et réduction de la consommation énergétique, afin de nourrir et d'accélérer les travaux de l'OACI (cf. recommandation n°8) ;
- sur cette base, définir un programme européen ambitieux de coopération de recherche technologique à long terme avec l'industrie et les centres de recherche, en décliner le contenu ; dégager les ressources nécessaires ;
- renforcer la présence européenne (industrie et officiels) dans les groupes de normalisation ;
- clarifier la position de l'Europe quant à l'usage et au choix des instruments économiques. La France se doit de soutenir la proposition britannique d'inclure les vols intra-européens dans le système européen d'échange des quotas d'émission.

En conclusion, trois éléments saillants émergent dans la démarche à suivre,

- bâtir un programme d'ensemble au niveau européen ;
- considérer que l'Europe est un cadre d'action et non seulement un lieu d'élaboration de propositions ;
- renouer le dialogue avec les USA et certains autres grands pays non seulement dans le cadre formel et incontournable de l'OACI mais aussi dans des instances de concertation plus informelles appropriées à chaque question posée. La France peut y jouer un rôle utile.

Synthèse des recommandations

I – Réorienter les programmes de R & D¹⁰ sur des objectifs environnementaux et plus particulièrement sur la lutte contre le changement climatique :

- mieux connaître les aspects spécifiques de l'effet radiatif du transport aérien (CT/MT)¹¹ ;
- améliorer la composition du kérosène (taux de soufre et d'aromatiques, additifs) (CT) ;
- identifier les mesures prioritaires dans le programme ACARE¹² en ce qui concerne notamment les moteurs, l'aérodynamisme, les matériaux composites (CT/MT) ;
- développer une filière industrielle de kérosène de synthèse à partir de la biomasse (MT/LT)¹³ ;
- participer aux programmes de recherches avancées sur la filière hydrogène (LT).

(Recommandation n°2 p.48)

II – Financer ce programme au niveau national et européen :

- par redéploiement des moyens budgétaires et un accroissement éventuel à justifier dans le cadre du PCRD¹⁴ accompagnant l'effort propre des industries aéronautiques et pétrolières ;
- par un abondement financé par le produit éventuel des outils économiques visés au point 4 via une « **fondation européenne** » pour la recherche aéronautique.

(Recommandation n°3 p.48)

III – Rechercher un partenariat entre les États-Unis et l'Union européenne notamment, sur les recommandations 2 et 3 afin de nourrir et d'accélérer les travaux et décisions de l'OACI.
(Recommandation n°8 p.68)

IV - Mettre en place au niveau intra - européen l'outil économique le plus approprié avec la perspective d'un élargissement au niveau mondial en tenant compte des critères suivants : efficacité économique, faisabilité juridique au regard des conventions internationales, acceptabilité, distorsions économiques minimales¹⁵, facilité de mise en œuvre. Compte tenu de la création récente d'un marché européen de permis pour les installations industrielles les plus intenses en énergie et des difficultés politiques et pratiques à mettre en œuvre une taxe mondiale sur le kérosène, le classement des instruments économiques par ordre de préférence décroissante serait le suivant :

- inclusion du transport aérien dans le marché européen de permis portant sur le CO₂ ;
- modulation des redevances de route en fonction des émissions de CO₂ des avions ;
- taxe sur le kérosène consommé sur les vols intra-communautaires ;
- taxe sur les billets d'avion.

L'inclusion du transport aérien dans un marché européen de permis devra ouvrir la possibilité de participer aux mécanismes de développement propre.

(Recommandation n°5 p.64)

¹⁰ R&D : Recherche et Développement

¹¹ CT : court terme – MT : moyen terme

¹² ACARE : Advisory Council for Aerospace Research in Europe

¹³ LT : long terme

¹⁴ PCRD : Programme Cadre de Recherche et de Développement

¹⁵ Il devra être tenu compte notamment du problème particulier de la desserte des régions périphériques

V – Améliorer ou définir au niveau mondial avec les constructeurs, les motoristes et l’industrie pétrolière des normes ou objectifs de performance :

- renforcer celles relatives aux oxydes d’azote en prenant en compte la phase de croisière ;
- accélérer les travaux relatifs aux émissions de particules ;
- établir des objectifs de performance des avions pour les émissions de dioxyde de carbone ;
- améliorer très rapidement la composition du kérosène.

Préciser les étapes et le calendrier, les modalités d’application (application à l’industrie ou/et aux compagnies, normes contraignantes ou engagement volontaire, dispositif de sanctions).

Prendre en compte les « trade off » (notamment entre NO_x, CO₂, bruit) dans la mise en œuvre.

Envisager à l’horizon 2015-2020 la mise en application d’une recommandation de l’OACI¹⁶ et d’une directive européenne portant sur l’incorporation de bio-kérosène dans le carburant avion.

(Recommandation n° 4 p. 52)

VI – Fédérer les opérateurs (aéroports, contrôle aérien) au niveau français puis européen dans un engagement volontaire sur un ensemble d’actions à mener dans les 10 ans à venir, pour améliorer l’efficacité énergétique globale et les performances environnementales du transport aérien en Europe, complémentaire de l’action des compagnies. S’appuyer sur l’AEA¹⁷ et l’AIA¹⁸ en utilisant les travaux déjà entrepris dans ces deux associations. Harmoniser notamment les mesures locales prises au niveau des grandes plates-formes aéroportuaires.

(Recommandation n°1 p.37)

VII – Approfondir l’ensemble de ces propositions avec nos principaux partenaires européens et la commission dès la prochaine présidence britannique et mette en place au niveau intra-communautaire les mesures compatibles avec une action autonome de l’Union européenne.

(Recommandation n°7 p 68)

VIII – Intégrer le secteur de l’aviation civile domestique et internationale dans le dispositif post-Kyoto en s’appuyant sur les résolutions déjà prises par l’OACI. Etendre progressivement à cette fin le dispositif de permis d’émission négociables mis place par l’Union européenne aux pays industrialisés ou (et) disposant de compagnies de premier rang.

(Recommandation n°6 p.68)

¹⁶ OACI : Organisation de l’Aviation Civile Internationale

¹⁷ AEA : Association European Airlines

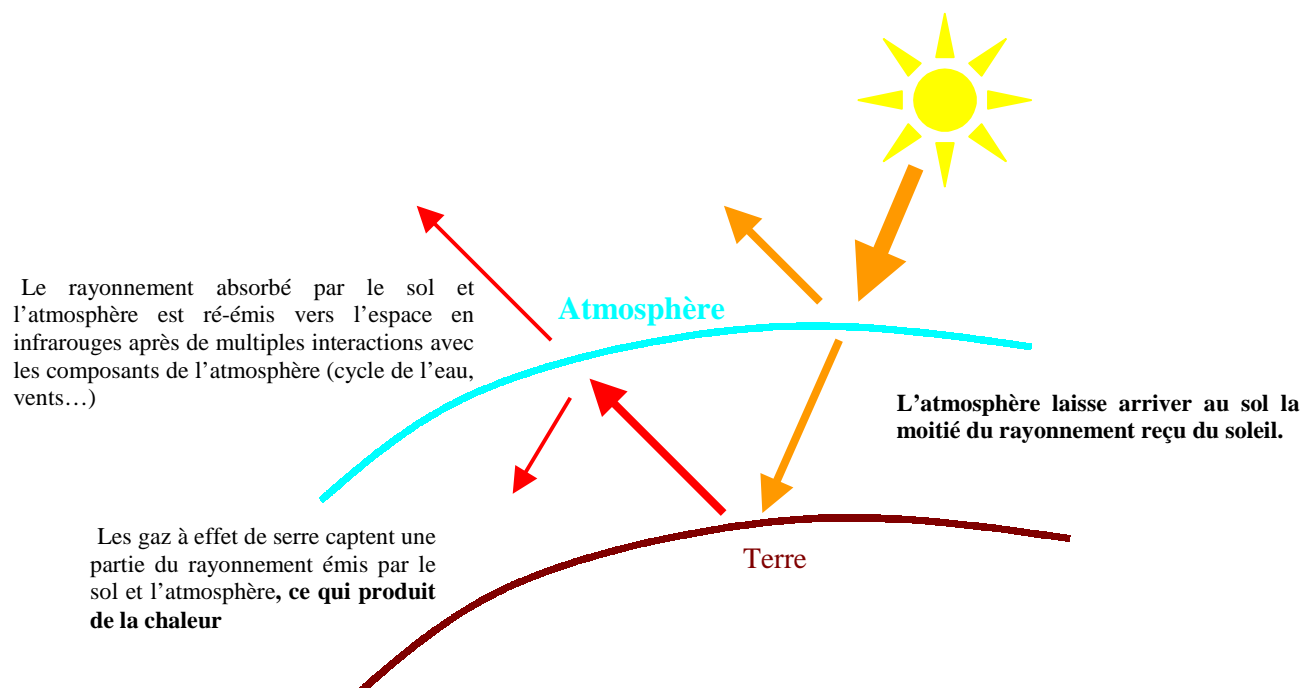
¹⁸ AIA : Aerospace Industries Association

1. La contribution du transport aérien au changement climatique

1.1 Descriptions du phénomène de l'effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel qui maintient sur la Terre une température moyenne de 15°C, permettant ainsi à la vie d'exister. Sans lui, cette température serait de -18°C, ce qui rendrait la Terre totalement inhabitable. Il est provoqué par la présence naturelle de gaz, les gaz à effet de serre (GES), qui piègent dans l'atmosphère une partie de la chaleur émise par le soleil. Ces gaz sont très peu abondants, les plus répandus à l'état naturel étant la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone et l'ozone.

Tableau 1 : Description du phénomène d'effet de serre



Du fait du développement des activités humaines, la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère s'est sensiblement modifiée. En plus des gaz naturellement présents dans l'atmosphère sont émis plusieurs autres gaz d'origine purement humaine, quasiment absents à l'état naturel. La communauté internationale a ainsi identifié **six gaz ou familles de gaz responsables de l'effet de serre** : CO_2 – CH_4 – N_2O – HFC – PFC – SF_6 . Cet ensemble de gaz a été défini au cours de la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques dont l'aboutissement, le protocole de Kyoto, jette les bases d'une politique globale de réduction de leurs émissions.

Cette liste de gaz n'a pas pour vocation à être exhaustive par rapport à l'ensemble des phénomènes conduisant à l'effet de serre : certains gaz régis par le protocole de Montréal (préservation de la couche d'ozone) sont aussi des gaz à effet de serre. Les gaz dont la production et la consommation sont contrôlées dans le protocole de Montréal ne sont pas comptabilisés dans le protocole de Kyoto.

Parmi ces 6 gaz ou familles de gaz, les avions émettent uniquement du CO_2 . Ils sont cependant à l'origine d'autres polluants ayant un impact sur le changement climatique.

1.2 Le rôle des émissions autres que le gaz carbonique

Outre le gaz carbonique, les moteurs d'avion émettent de la vapeur d'eau, des oxydes d'azote, des oxydes de soufre et des particules, qui ont un impact sur le changement climatique.

Les oxydes d'azote (NO et NO₂ principalement), bien que n'étant pas des gaz à effet de serre, interviennent de manière indirecte en créant de l'ozone (O₃) et en détruisant du méthane (CH₄). Les oxydes d'azote ont ainsi deux effets contraires, par la création et la destruction de gaz à effet de serre. L'état actuel des connaissances scientifiques ne permet pas d'évaluer l'impact global des NO_x avec précision. Le GIEC¹⁹ s'accorde cependant pour dire que ces émissions se traduisent par un léger réchauffement en moyenne (augmentation de l'effet de serre dans les zones où il y a un trafic aérien important, diminution ailleurs).

Associées aux émissions de vapeur d'eau, les émissions d'oxydes de soufre²⁰ et de particules entraînent la formation de traînées de condensation. Celles-ci couvrent environ 0,1% de la surface de la Terre (estimation du GIEC, pour 1992), avec des variations importantes dues à la localisation des flux de trafic. Similaires à de fins nuages d'altitude, elles réchauffent l'atmosphère de par leurs propriétés optiques.

Les cirrus sont des nuages d'altitude qui recouvrent de manière naturelle environ 30% de la surface de la Terre. Il s'en forme aussi lorsque les traînées de condensation deviennent persistantes. D'après le GIEC, les cirrus produits par les traînées de condensation recouvriraient entre 0% et 0,2% de la surface du globe. Néanmoins les mécanismes associés à leur formation dans l'atmosphère sont très mal connus, et nécessitent des recherches approfondies.

Les phénomènes en cause ont des durées de vie très différentes. Selon le rapport du GIEC *Aviation and the Global Atmosphere*, la durée de vie du gaz carbonique dans la troposphère et dans la stratosphère (où se déroule une partie des vols intercontinentaux) est de l'ordre de 100 ans. Les durées des autres phénomènes sont beaucoup plus courtes. Selon le GIEC, dans la troposphère les durées de vie des émissions autres que le CO₂ sont de deux semaines ou moins ; celle de l'ozone produit par les oxydes d'azote est d'environ un mois. Ces durées de vie dans la stratosphère sont plus longues mais dans tous les cas inférieures à 10 ans.

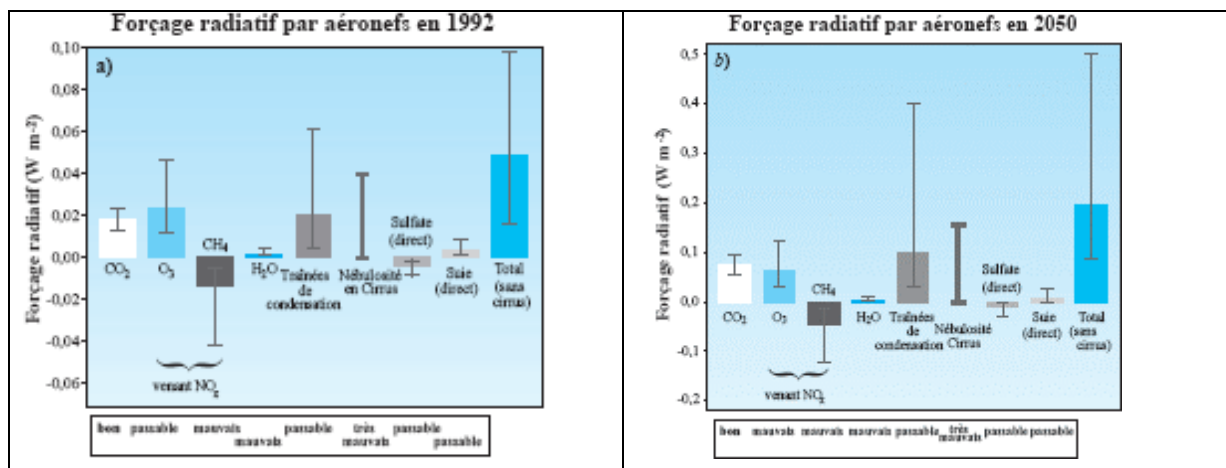
Cependant les émissions autres que le CO₂, si elles ont des durées relativement courtes, ont des effets puissants. Pour décrire l'effet radiatif global des émissions du transport aérien à un moment donné, le GIEC utilise un coefficient multiplicateur qui s'applique à l'effet des émissions cumulées de CO₂ depuis l'origine de l'aviation. Le rapport précité estime que ce coefficient était de 2,7 en 1992. Par comparaison, le rapport indique que pour la somme de toutes les activités humaines le forçage radiatif total est au maximum de 1,5 fois celui du seul CO₂ émis.

Pour autant et dans l'attente d'une meilleure information du GIEC, l'impact du transport aérien en ce qui concerne les émissions de CO₂ doit être multiplié par un facteur de 1,8 (rapport de 2,7 sur 1,5) lorsqu'on le compare aux sources terrestres.

¹⁹ GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

²⁰ Rapport *Aviation and the global atmosphere*, p.260

Tableau 2 : Forçage radiatif des aéronefs



Source GIEC

A l'horizon 2050, le coefficient multiplicateur de 2,7 pourrait être compris compte tenu des incertitudes scientifiques entre 2,2 et 3,4. Le rapport GIEC *L'aviation et l'atmosphère planétaire* indique, à la page 188 : « En 1992, le coefficient de forçage radiatif de l'aviation (rapport du forçage radiatif total et de celui des seules émissions de CO₂) était de 2,7 ; dans le scénario FA1 il atteint 2,6 en 2050. Ce coefficient est compris entre 2,2 et 3,4 en 2050 selon le scénario considéré. ».

L'effet de serre lié aux émissions d'oxydes d'azote, d'oxydes de soufre et de particules paraît donc très important, bien que les phénomènes auxquels il donne lieu soient fugitifs. En raison de leurs spécificités la réduction de ces émissions appelle, comme indiqué plus loin, des mesures distinctes de celles à employer pour limiter ou réduire les émissions de gaz carbonique. Les incertitudes qui pèsent encore sur l'importance de ces effets, certains ayant pu être sous-estimés, d'autres surestimés, ne doivent pas conduire à l'inaction.

1.3 État des lieux

Depuis 1996, les Parties visées à l'annexe I²¹ sont tenues de soumettre à l'UNFCCC²² un inventaire annuel des émissions de gaz à effet de serre. Il est cependant difficile de trouver des données d'émissions exhaustives pour l'ensemble des pays.

A) Les émissions de gaz à effet de serre dans le monde

Le volume mondial des émissions de gaz à effet de serre atteignait, en 2000, 33,9 milliards de tonnes d'équivalent CO₂²³, en progression annuelle moyenne de +1,0% par rapport à 1990 (30,6 milliards de tonnes).

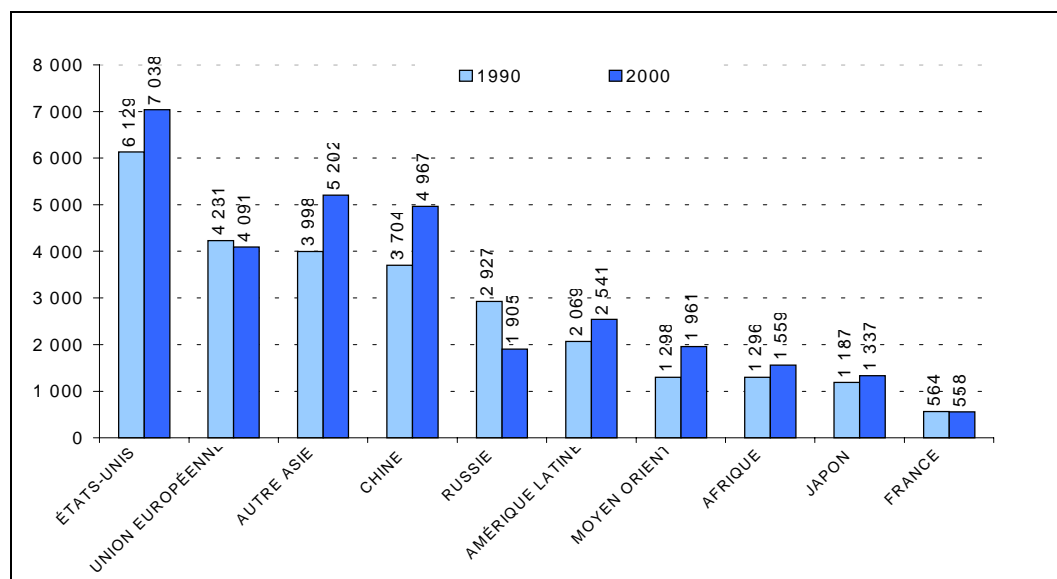
La contribution de chaque pays à ce volume mondial dépend étroitement de son niveau de développement et du rythme de sa croissance économique. Les pays les plus riches sont donc les plus émetteurs de gaz à effet de serre.

²¹ Les Pays de l'Annexe 1 sont les pays signataires de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique : Allemagne, Australie, Autriche, Belgique, Bulgarie, Canada, Danemark, Espagne, Estonie, États-Unis, Fédération Russe, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Japon, Lettonie, Lichtenstein, Lituanie, Luxembourg, Monaco, Norvège, Nouvelle Zélande, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Suède, Suisse

²² UNFCCC : Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques

²³ Hors transport aérien et maritime international : dans les inventaires d'émissions, seuls les vols intérieurs sont comptabilisés ; les vols internationaux sont reportés « hors total », et par conséquent, ne sont pas pris en compte dans le calcul du volume total des émissions par pays.

Tableau 3 : Émissions de gaz à effet de serre par zone géographique²⁴



Source : UNFCC et WRI

En 2000, la contribution des États-Unis, avec 7,0 milliards de tonnes d'équivalent CO₂, représente 20,8% des émissions mondiales et celle de l'Union européenne 4,1 milliards de tonnes d'équivalent CO₂ soit 12,1% de ces émissions. Les émissions de la France (n.c. le transport aérien international) sont évaluées à 558 millions de tonnes d'équivalent CO₂ en 2000, soit 13,6% des émissions de l'Union européenne et 1,6% des émissions mondiales.

Tableau 4 : Émissions de gaz à effet de serre : les chiffres clés²⁵

Émissions de gaz à effet de serre (Milliards de te CO ₂)	2000	% Total Monde
Monde	33,9	100%
États-Unis	7,0	20,8%
Union européenne	4,1	12,1%
France	0,558	1,6%

Source : UNFCC et WRI

Dans les autres zones géographiques, il convient de remarquer l'importance de la contribution du Japon (1,3 milliard de tonnes d'équivalent CO₂), de la Chine (5,0 milliards de tonnes d'équivalent CO₂) et celle de la zone « Autres Asie » (5,2 milliards de tonnes d'équivalent CO₂). On voit ainsi que les émissions de pays asiatiques en développement (Chine et « Autres Asie »), avec 10,2 milliards de tonnes, dépassent largement celles des États-Unis (7,0 milliards de tonnes d'équivalent CO₂) et, qui plus est, leur progression, au rythme de 2,8% l'an (1990-2000) s'inscrit dans une tendance très supérieure à celle des autres zones principalement émettrices.

Pour autant, et malgré ces évolutions, les écarts en termes d'émission d'équivalent CO₂ par habitant demeurent impressionnants : 24,2 t/habitant aux États-Unis et 10,6 en Europe en 2000 (9,1 pour la France) d'une part, 3,7 t/ en Chine et 2,6 t dans la zone Autre Asie d'autre part.

²⁴ Selon l'AIE, les émissions mondiales de CO₂ liées à la combustion ont augmenté de 2,8% entre 2000 et 2002. La progression des émissions CO₂ liées à la combustion entre 2000 et 2002 est plus forte en Chine (+9,5%) et en Asie du Sud Est (6,8%) que dans les autres zones émettrices (+0,9% pour l'Union européenne et -0,3% pour les États-Unis).

²⁵ Tous secteurs, hors transport aérien et maritime international.

B) Contribution du transport aérien aux émissions mondiales

■ Les émissions de CO₂ du transport aérien

D'après l'AIE²⁶, les émissions totales de l'aviation (transport aérien intérieur et international des Pays de l'Annexe 1⁸ et pays Non Annexe 1 de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement) s'élevaient, en 2002, à 652,9 millions de tonnes de CO₂ *soit 2,0 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre*, dont 354,4 millions de tonnes pour le trafic international.

Tableau 5 : Émissions mondiales de CO₂ du transport aérien mondial²⁷

Millions de tonnes de CO ₂	1990	2002	Croissance 1990-2002	Trafic en PKT 1990-2002
Transport aérien intérieur	224,9	298,9	+32%	+22%
Transport aérien international	286,0	354,4	+24%	+85%
Total aérien	510,9	652,9	+27%	+55%

Source : AIE et OACI

Les émissions de CO₂ sur cette période (+27%) augmentent deux fois moins vite que le trafic (+55%) sur la période 1990-2002, illustrant l'amélioration de l'efficacité énergétique du mode aérien. Ces gains sont particulièrement importants pour le trafic international (+24% en termes de CO₂ et +85% pour le trafic) ; le cas du trafic intérieur est très différent : les émissions de CO₂ (+32%) progressent plus rapidement que le trafic (+22%). Cette situation s'explique en grande partie par l'importance du trafic intérieur des États-Unis exploité avec une flotte ancienne aux faibles performances énergétiques.

■ Les axes et pôles du transport aérien

Les émissions de CO₂ du transport aérien commercial (intérieur et international) sont concentrées principalement sur trois pôles : Amérique du nord, Asie Pacifique et Europe, et sur trois axes : Atlantique Nord, Europe-Asie, Asie-Amérique du Nord.

En 1997, ces axes et pôles représentaient 342,7 millions de tonnes de CO₂²⁸ soit 70,3% des émissions du transport aérien commercial (487 millions de tonnes²⁹), en progression annuelle moyenne de +4,8% par rapport à 1992 (270,9 millions de tonnes).

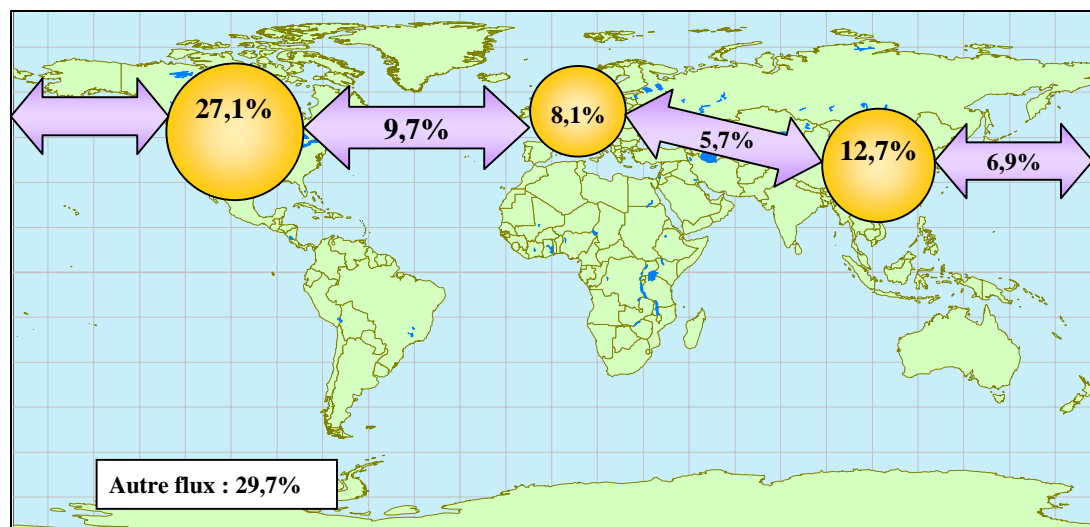
²⁶ AIE : Agence Internationale de l'Énergie.

²⁷ Émissions calculées à partir des ventes mondiales de kérosène (trafic commercial et non commercial - y compris vols militaires).

²⁸ Données 1997, modèle AERO (Aviation Emissions and Evaluation of Reduction Options). Ce modèle, développé pour le ministère des transports néerlandais, a été utilisé pour les travaux du groupe FESG (Forecasting and Economic Study Group) de l'OACI.

²⁹ D'après l'AIE, le volume des émissions de CO₂ dues au kérosène s'élevait à 608 millions de tonnes en 1997. La part de l'aviation commerciale dans ces émissions s'élève à 80%.

Tableau 6 : Répartitions géographiques des émissions de CO₂ de l'aviation civile en 1997



Source : Modèle AERO

C) Contribution du transport aérien européen

Les émissions de CO₂ liées au transport aérien de l'Union européenne (25 pays) sont estimées, sous toutes réserves, par Eurocontrol³⁰ à 119 millions de tonnes en 2002 pour un trafic de 551 millions de passagers en 2002 dont 19% concerne des déplacements intérieurs à chacun des pays.

Ces émissions se répartiraient en 15% pour le trafic intérieur, 29% pour le trafic intra-communautaire et 56% pour le trafic international.

Elles représenteraient, sur la base de cette méthode de calcul 18% des émissions mondiales si l'on attribue à l'Union européenne que la moitié des émissions du trafic international, l'autre moitié étant affectée aux pays tiers. Les émissions de CO₂ du trafic intérieur de chacun des pays de l'UE et du trafic intra communautaire représenteraient dans ce cas 8,0% des émissions mondiales de l'aviation.

D) Les émissions de CO₂ du transport aérien de la France

Les émissions totales du transport aérien concernant la France se montaient à 18,1 Mt CO₂ en 2002 (soit près de 13% des émissions de l'UE) en croissance de 50,8 % depuis 1990, ce qui est supérieur à la croissance mondiale et découle d'une croissance elle aussi beaucoup plus rapide du trafic.

Tableau 7 : Émissions de gaz à effet de serre du trafic aérien de la France

Millions de tonnes de CO ₂	1990	2002	Croissance 1990-2002	Trafic en PKT 1990-2002
Trafic intérieur	3,8	5,1	34,2%	57,0%
Trafic international yc UE	8,2	13,0	58,5%	109,0%
Trafic Total	12,0	18,1	50,8%	98,2%

Source : CITEPA

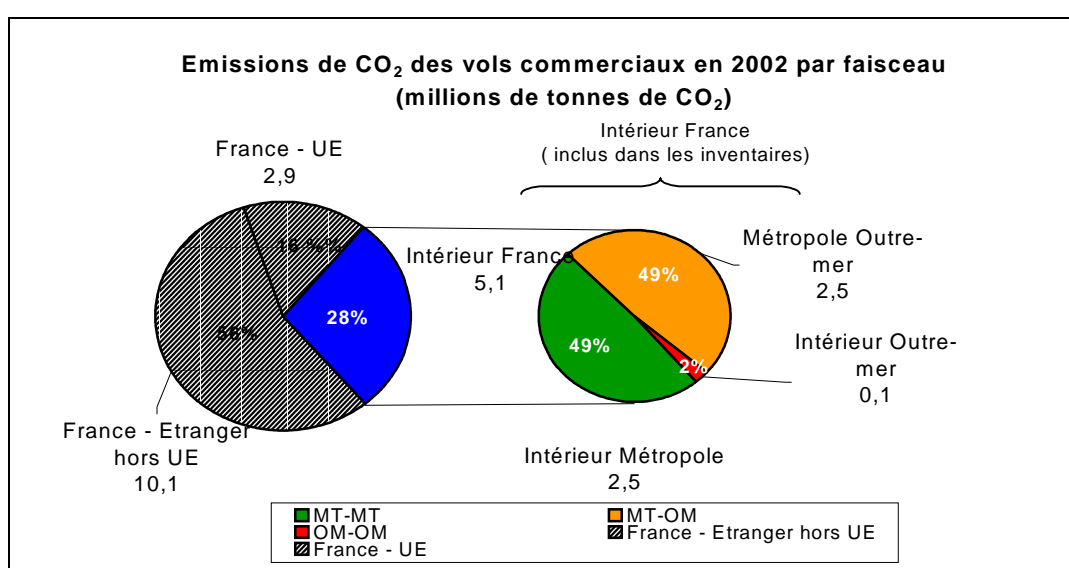
³⁰ Ces estimations ont été calculées, sous toutes réserves, par Eurocontrol, à l'aide d'une version provisoire du logiciel Pagoda. Elles sont établies en considérant chacun des vols commerciaux (départ et arrivée) desservant l'Union européenne, selon la destination et le type d'appareil (méthode ANCAT 3).

Sur cette période, leur part dans les émissions totales de gaz à effet de serre de la France est passée de 1% à 1,3%. Ces proportions, supérieures à celles rencontrées dans l'Union européenne où le transport aérien représente 0,6% des émissions, s'expliquent par la part importante des émissions liées à la desserte de l'Outre-mer (49% des émissions sont liées à la desserte de l'Outre-mer).

Sur la période 1990-2002, le trafic aérien *intérieur* a augmenté de 57%, les émissions liées de 34,2%. Mais dans le même temps la part du trafic intérieur dans les émissions totales du transport aérien est tombée de 32% à 28%. On peut observer à cette occasion que l'importance de la progression du trafic intérieur (+57%), supérieure à celle observé pour l'ensemble du monde (+22%) (cf. tableau 5), est directement liée à la desserte de l'outremer, en progression de +87% sur la période.

Il convient de noter, pour ces dernières années, la nette diminution des émissions liées au trafic intérieur : 5,7 Mt en 2000, 5,1 Mt en 2002 et 5,0 Mt(est.) pour 2003 ; cette situation s'explique par la diminution du trafic des liaisons radiales en raison de la concurrence TGV mais également de celles des liaisons transversales.

Tableau 8 : Émissions des vols commerciaux de la France



Source : CITEPA

Le trafic aérien international est, quant à lui, sur une tendance de croissance encore plus forte : entre 1990 et 2002, le trafic a progressé de 109% en PKT et les émissions de CO₂ liées de 59%, ce qui traduit implicitement une diminution des émissions de CO₂ au passager-kilomètre-transporté.

L'efficacité énergétique, mesurée en gCO₂/PKT a progressé principalement sur les dessertes internationales (+22% en 12 ans) et sur l'Outre-mer (+25% en 12 ans).

La croissance du trafic est liée directement à celle de la croissance économique mais également aux politiques tarifaires des compagnies aériennes. Celles-ci, grâce à une amélioration de leur efficacité, à une diminution des tarifs³¹, à une politique commerciale plus incisive et une diversification de leur gamme tarifaire, ont permis à de nouveaux consommateurs d'accéder aux déplacements par avion, alimentant ainsi la croissance du secteur. Selon l'OACI, et basé sur l'observation de 22 années d'évolution du transport aérien au niveau mondial, l'élasticité de la demande de transport aérien est de 1,34 par rapport à la croissance économique et de -0,58 à la recette au passager-kilomètre-transporté³².

³¹ On ne dispose toutefois d'aucune donnée sérieuse sur cette évolution

³² Source : « Perspectives du transport aérien d'ici à l'an 2015 » OACI Septembre 2004 (Réf. 4).

1.4 Croissance du secteur et évolution des émissions : les enjeux de long terme

A) Les perspectives d'évolution au niveau mondial

- Les perspectives à moyen terme de l'OACI³³ (2010-2020)

Le FESG³⁴ du CAEP³⁵ est chargé de l'évaluation des instruments économiques pour la réduction des émissions de l'aviation civile. Au cours de l'année 2000, le FESG a élaboré un scénario d'évolution des émissions de gaz à effet de serre de l'aviation à l'aide du modèle AERO.

Dans le scénario de référence, **les émissions de CO₂ de l'aviation mondiale atteindraient 718,7 millions de tonnes en 2010 et 1,0 milliard en 2020** ; celles liées au **transport aérien intérieur de l'Union européenne** pourraient atteindre **54,9 millions de tonnes en 2010** soit 7,6% des émissions de l'aviation mondiale.

Tableau 9 : Projection des émissions de CO₂ de l'aviation commerciale

Scénario de référence	1998	2010	t.c.a.m ³⁶ 1998-2010	2020	t.c.a.m 1998-2020
Émissions de CO ₂ (millions de tonnes)	514,0	718,7	+2,7%	1000,3	+3,0%
Trafic (Milliards de TKT)	421,7	779,5	+5,3%	1315,7	+5,3%

Source : Modèle AERO

Tableau 10 : Projection en 2010 des émissions de CO₂ de l'aviation commerciale de l'Union européenne

Flux de trafic	Émissions de CO ₂ (millions de tonnes)			Trafic en TKT (fret +pax)
	1997	2010	t.c.a.m 1997-2010	t.c.a.m 1997-2010
Intra UE	39,4	54,9	2,6%	+5,1%
UE – Amérique du nord	47,3	73,4	3,4%	+5,8%
UE – Asie	28,8	45,7	3,6%	+6,9%

Source : Modèle AERO

La répartition à 2010 entre les différents axes et pôles du transport serait différente de ce qu'elle est aujourd'hui (cf. Tableau 6). Dans le scénario de croissance modérée, les émissions de CO₂ à l'intérieur de l'Union européenne (à 15) pourraient atteindre 54,9 millions de tonnes, soit 7,6% des émissions de l'aviation mondiale. Leur importance serait en baisse par rapport à 1997 (elles étaient de 8,1%), tout comme celles des Etats-Unis (23,4% en 2010 contre 27,1% en 1997). Ces évolutions, d'après les hypothèses retenues, devraient, à titre principal, se faire au « profit » de la zone Asie (14,9% des émissions).

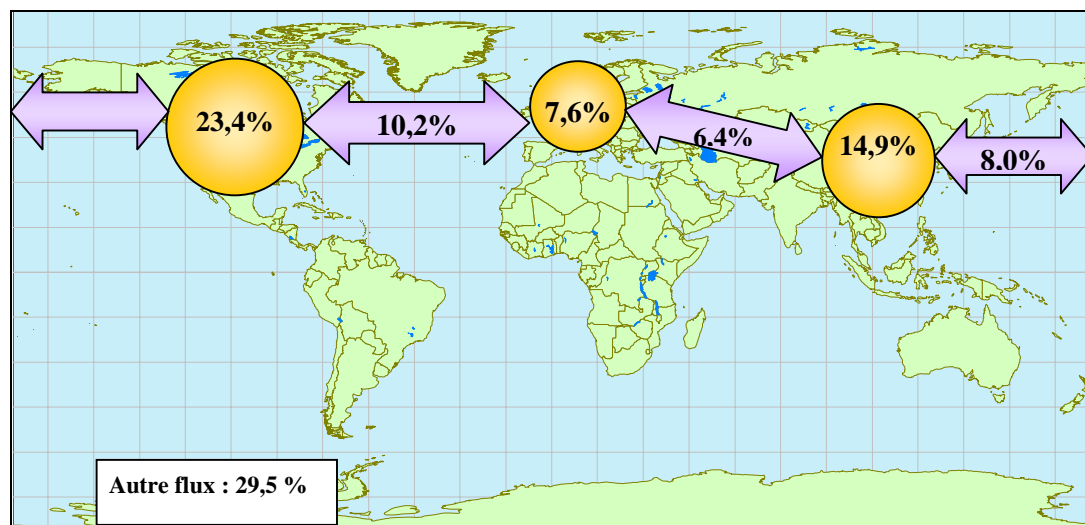
³³ Les hypothèses liées à ces perspectives ainsi que les autres références en termes de prévisions sont consultables en Annexe 6.

³⁴ FESG : Forecasting and Economic Study Group

³⁵ CAEP : Comité de la protection de l'environnement en aviation (Comité de l'OACI).

³⁶ T.c.a.m. taux de croissance annuel moyen

Tableau 11 : Estimation des émissions de CO₂ de l'aviation en 2010



Source : Modèle AERO

Dans l'ensemble, les hypothèses de croissance de trafic sur lesquelles reposent ces prévisions d'émissions de CO₂, même si elles datent maintenant de quelques années (1998-2000) restent valables. En effet, même si l'activité du transport aérien demeure fragile et particulièrement vulnérable à l'environnement politique et aux conditions de sûreté et de sécurité (sanitaires entre autres), les facteurs fondamentaux qui sont à l'origine même de son développement (croissance économique, besoin de mobilité en regard de la globalisation, des échanges internationaux, du tourisme...) demeurent profondément robustes sur le long terme et leurs effets, plus ou moins renforcés, à la faveur de baisses tarifaires et de la stratégie des opérateurs.

▪ Les perspectives à long terme de l'OACI (2050)

En 1998, le FESG a élaboré un ensemble de scénarios de croissance des émissions de CO₂ à long terme (Réf. 4). Ces scénarios reposaient sur les hypothèses suivantes :

- la demande de transport aérien est principalement tirée par la croissance économique ;
- le prix du kérosène ne varie pas de manière plus importante que les autres coûts ;
- le développement des autres secteurs (TGV, télécommunications) n'a pas d'influence sur la demande de transport aérien ;
- les infrastructures sont suffisantes pour satisfaire l'ensemble de la demande de transport aérien ;
- l'efficacité énergétique augmente de 1% à 1,3% l'an entre 1997 et 2050.

Sur ces bases, le FESG a retenu trois scénarios de croissance du trafic aérien à l'horizon 2050 : +2,2%, +3,1% et 3,9% par an.

Dans le cas du scénario central, **les émissions de CO₂ de l'aviation mondiale atteindraient 1,5 milliard de tonnes en 2050**, en progression annuelle moyenne de l'ordre de 1,7% depuis 1990, et le trafic aérien de 3,1% l'an. Entre 1990 et 2050, les émissions du transport aérien pourraient être multipliées par un facteur proche de 3.

Tableau 12 : Projection en 2050 des émissions de CO₂ de l'aviation (FESG)

Scénario de croissance du trafic aérien	Émissions de CO ₂ (millions de tonnes)			Trafic en PKT
	1990	2050	t.c.a.m 1990-2050	t.c.a.m 1990-2050
Faible croissance	550	846	+0,7%	+2,2%
Scénario central	550	1 485	+1,7%	+3,1%
Forte croissance	550	2 347	+2,4%	+3,9%

Source : FESG 1998

B) Les perspectives d'évolution des émissions du transport aérien de la France

A l'horizon 2025, les perspectives d'évolution du trafic sont adossées aux scénarios d'évolution du transport aérien retenus par la DGAC. Pour les scénarios considérés comme les plus probables, les perspectives de croissance du trafic intérieur de passagers des aéroports de métropole seraient faibles, entre +1,5% l'an et +0,6%. Pour le trafic international, les taux de croissance seraient plus élevés et varieraient, en termes de passagers, de +3,0% à +3,6% l'an pour l'Union européenne et de +3,4% à +4,2% l'an pour le reste du trafic international.

Compte tenu de l'évolution de la longueur d'étape, la croissance annuelle moyenne du trafic de la métropole en termes de PKT est estimée entre +3,6% et +4,3% selon le scénario, cette croissance étant essentiellement liée à la forte progression du trafic international.

A partir de ces hypothèses, le volume des émissions totales de *l'aviation commerciale de la France peut être estimé en 2025 de l'ordre 27 et 32 millions de tonnes* de CO₂, soit une croissance de +1,8% l'an à +2,5% l'an, respectivement, par rapport à 2002, une croissance essentiellement liée à celle du trafic international.

La stabilisation des émissions liées au trafic intérieur devrait se poursuivre dans le futur en raison de la stagnation du trafic intérieur, liée à la maturité atteinte par ce marché, au développement du réseau TGV et à la concurrence ferroviaire particulièrement significative sur ce type de marché, et aux gains en matière d'efficacité énergétique constatés sur ce marché au cours des dernières années.

A un horizon plus lointain (2050), sur la base d'hypothèses de croissance du trafic aérien de l'ordre de +1,7% à +2,8% l'an en termes de passagers par rapport à 2002, et de +2,5% à +3,8% en termes de passagers-kilomètres-transportés (2002-2050), la progression des émissions de CO₂ liées au transport aérien de la France peut être estimée de l'ordre de 1,1% à 2,5% l'an.

Les différentes perspectives au niveau mondial sont assez homogènes mais plutôt tendanciennes (prix du kérosène stable, couplage de la demande et de la croissance économique, amélioration relativement faible de l'efficacité énergétique, pas de substitution possible aux déplacements et pas de contrainte pesant sur le développement du transport aérien).

Elles permettent cependant de mesurer l'enjeu : même dans l'hypothèse d'un ralentissement net de la croissance de la demande du transport aérien après 2020, (constituant en quelque sorte un scénario fil de l'eau) les émissions de CO₂ pourraient être multipliées par 3 entre 1990 et 2050, alors que pour l'ensemble des émissions d'origine anthropique l'on considère comme nécessaire une division par deux au niveau mondial pour faire face au changement climatique³⁷. De faible, la part des impacts sur le climat dus à l'aviation deviendrait alors très importante.

³⁷ Rappelons que la France s'est assignée un objectif de réduction de 75% (division par 4), le Royaume-Uni de 60% et que les travaux préparatoires au prochain conseil européen proposent une fourchette de 60 à 80% pour les pays industrialisés

On peut cependant estimer qu'un certain nombre de facteurs pourraient jouer à long terme pour infléchir davantage la croissance du trafic et donc celle des émissions. Si le baril de pétrole reste à un niveau élevé et a fortiori s'il renchérit, cette hausse finira par se répercuter sur les prix payés par les passagers ou les marchandises. C'est le facteur principal qui peut venir modérer la demande au plan mondial. Mais d'autres facteurs pourront jouer dans le même sens : substitution modale là où elle est possible (nous l'examineront au point 3.3) ; difficulté d'extension ou de création de plateformes aéroportuaires dans les zones densément peuplées : comportement nouveaux et plus responsables des acteurs économiques et des citoyens.

Se reposer sur cette seule perspective nous exposerait cependant au risque majeur de relâcher l'effort nécessaire pour combattre cette menace. En conséquence, nous avons considéré que cette prolongation de tendance constituait le scénario de référence à partir duquel il convenait d'ajuster nos propositions. La reprise du trafic aérien en 2004 nous confirme dans ce choix.

2. Le transport aérien dans le contexte des accords internationaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre

La limitation de l'impact du transport aérien international sur le changement climatique soulève des questions qui, par nature, ne peuvent être traitées qu'au niveau international. En raison des divergences des positions des États, les débats sur les réponses à apporter ne progressent que très lentement, tant au niveau européen qu'au niveau international.

2.1 Le transport aérien et le protocole de Kyoto

La Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (UNFCCC), adoptée à Rio en Juin 1992, a marqué le début d'une politique mondiale de lutte contre le changement climatique. L'objectif de la convention est de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute « perturbation anthropique dangereuse du système climatique ».

La « Conférence des Parties » à l'UNFCCC se réunit tous les ans depuis 1995 afin de définir les modalités de la mise en œuvre de cette politique de lutte contre l'effet de serre. Le **protocole de Kyoto** a été signé lors de la troisième Conférence des Parties en décembre 1997. Les pays industrialisés ont, en majorité, souscrit à des réductions précises de leurs émissions sur la période 2008-2012 (réduction de 5% par rapport à 1990).

Tandis que les émissions des vols intérieurs aux États sont inclus dans les inventaires d'émissions qui font l'objet d'engagements précis de réduction pour les pays signataire du protocole de Kyoto, les « routes internationales », constituées par l'ensemble du carburant utilisé pour des liaisons internationales, sont exclues des émissions « plafonnées » des États. Elles font l'objet d'un objectif général de limitation ou de réduction à l'article 2.2 du protocole :

« Les Parties visées à l'Annexe I cherchent à limiter ou réduire les émissions de gaz à effet de serre non réglementées par le Protocole de Montréal provenant des combustibles de soute utilisés dans les transports aériens et maritimes, en passant par l'intermédiaire de l'Organisation de l'aviation civile internationale et de l'Organisation maritime internationale respectivement ».

2.2 Les orientations européennes

A) Les positions des instances européenne

En novembre 1996, la Commission européenne a publié un rapport recommandant la taxation du kérosène. Une étude d'impact a été demandée par les ministres de l'économie et des finances en 1997. Cette étude « *Analysis of the taxation of aircraft fuel* », publiée en 1999 (Réf. 5) concluait que la taxation du kérosène, même limitée aux vols intra-européens et imposée à l'ensemble des transporteurs – ce qui nécessiterait la renégociation d'accords bilatéraux de services de transport aérien - risquait d'entraîner des détournements de trafic et des distorsions de concurrence défavorables aux transporteurs européens. La conclusion du Conseil sur les résultats de cette étude a été reprise dans le considérant 23 de la directive 2003/96 restructurant le cadre communautaire de taxation des produits énergétiques et de l'électricité :

« Compte tenu des obligations internationales existantes et de la préservation de la position compétitive des entreprises communautaires, il y a lieu de continuer d'exonérer les produits énergétiques fournis par la navigation aérienne et la navigation maritime autre que la navigation de plaisance privée, les États membres devant avoir la possibilité de limiter ces exonérations. ».

Ainsi la directive 2003/96 autorise la taxation du kérosène consommé sur les vols intérieurs et, sous réserve d'un accord bilatéral entre les pays concernés, sur les vols intracommunautaires (Art. 14) mais elle permet également aux États de continuer à exempter le kérosène.

Tirant les conséquences, la Commission dans sa communication « *Le transport aérien et l'environnement* » de novembre 1999 (Réf. 6) s'est engagée à proposer, en 2001, une *redevance environnementale sur l'aviation* qui, semblait-il, ne serait pas soumise aux mêmes contraintes juridiques vis-à-vis de transporteurs de pays tiers³⁸ et pourrait échapper ainsi à certains inconvénients de la taxation. L'étude, effectuée par CE DELFT, a été publiée fin 2002 (Réf. 7). Il convient d'observer qu'elle n'a été présentée ni au Conseil ni au Parlement et n'a pas fait l'objet de proposition de la Commission.

La communication précitée analysait, d'autre part, les mérites de la participation de l'aviation à un système d'échange de quotas d'émissions qui pourrait s'appliquer au niveau régional, l'une des solutions pouvant consister à attribuer des quotas aux aéroports qui les alloueraient selon des mécanismes compatibles avec ceux régissant l'attribution des créneaux. Enfin la Commission indiquait qu'il convenait d'encourager les initiatives de l'industrie, telle la proposition de l'AEA d'établir un accord volontaire sur les émissions du transport aérien (cf. § 3.1.C les propositions de l'associations des compagnies aériennes européennes), et qu'elle explorerait cette voie, ce qui n'a pas été fait.

A l'occasion de l'examen de cette communication, le Parlement et le Conseil, sans se prononcer sur le choix des outils économiques, ont demandé à la Commission de leur présenter des propositions concrètes pour limiter la croissance des émissions de l'aviation.

En octobre 2004, la Commission a lancé une étude, confiée à CE DELFT, sur l'inclusion éventuelle des vols intra-européens dans le système européen d'échange de quotas d'émissions. Les résultats sont attendus pour juin 2005.

Lors de la réunion du groupe de travail avec des représentants de la Commission, le 9 décembre 2004, ceux-ci ont pris soin de souligner que le lancement d'une étude sur l'inclusion de l'aviation dans le système européen d'échange de quotas d'émissions ne signifiait pas que la Commission ait abandonné les autres options (taxes, redevances, accords volontaires). La Direction générale Environnement prévoit que la Commission publiera en juillet 2005 -plus vraisemblablement septembre 2005- une nouvelle communication sur les outils économiques à appliquer à l'aviation. Cette communication prendra également en compte les résultats de la consultation auprès des États et des acteurs qui devrait être lancée au début de l'année 2005 sur ce sujet.

De son côté, le Gouvernement britannique, qui exercera la présidence de l'Union européenne durant le deuxième semestre 2005, escompte que la Commission présentera à l'automne une proposition de directive qui complètera la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil établissant un système d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre dans la Communauté, pour que les vols intra-européens soient inclus dans ce système.

B) Les positions des États membres en matière de lutte contre le changement climatique

Une enquête réalisée auprès de différents pays, notamment européens (cf. Annexe 7) sous l'égide de la DREE par les différents postes économiques, a révélé que la plupart étaient conscients du problème sans pour autant avoir arrêté des positions définitives sur les modalités d'actions.

2.3 La position de l'OACI sur les efforts de réduction des émissions

A) Le rôle de l'OACI en matière de protection de l'environnement

C'est la Convention sur l'aviation civile internationale de 1944 qui a créé l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI). Aujourd'hui 188 pays adhèrent à cette convention qui fixe des règles pour «assurer le développement ordonné et sûr de l'aviation civile internationale».

³⁸ Cette position a évolué et la Commission s'efforce d'introduire une clause sur les redevances sur les émissions dans le projet d'accord Union européenne/ Etats-Unis sur les services de transport aérien.

Le champ de ces règles s'est progressivement étendu au travers des annexes à la convention. Depuis 1971, la convention comporte une annexe XVI qui traite des normes et des pratiques recommandées pour réduire le bruit et la pollution³⁹. Cette annexe est régulièrement mise à jour par le Conseil de l'OACI sur proposition de son comité CAEP, après consultation des États. De plus, tous les trois ans, l'Assemblée de l'OACI redéfinit sa politique dans les différents domaines de sa compétence.

Dès la première moitié des années 90, l'OACI a incité le Groupe intergouvernemental d'experts sur le changement climatique (GIEC) pour qu'il fasse le point sur les connaissances relatives à l'impact de l'aviation sur le changement climatique. Cette demande a abouti au rapport de 1999 *L'aviation et l'atmosphère planétaire*. Plus récemment, l'OACI a demandé que le GIEC mette à jour ces données dans le rapport qu'il publiera en 2007.

L'OACI a, d'autre part, examiné les différents moyens opérationnels de réduire la consommation de kérosène. Cette analyse détaillée (99 pages) a donné lieu à une circulaire de février 2004 : *Possibilités opérationnelles de minimiser la consommation de carburant et de réduire les émissions* (Réf. 8).

Enfin, l'OACI a étudié comment l'usage d'instruments économiques⁴⁰ pourrait contribuer à la lutte contre le changement climatique en alimentant des modèles européen et américain avec de très nombreuses données économiques et techniques sur le transport aérien. Il est ainsi apparu que pour atteindre un même objectif de réduction, la participation de l'aviation à un système d'échange de quotas d'émissions serait environ vingt fois moins coûteuse que les autres options.

C'est en se fondant sur cette étude que la 33^{ème} Assemblée a entériné la participation de l'aviation civile internationale à un système ouvert d'échange de droits d'émissions et a demandé au Conseil d'en formuler les lignes directrices. Pour ce faire, le comité CAEP a utilisé les services d'un consultant, ICF. Les conclusions de son rapport *Designing a greenhouse gas emissions trading system for international aviation* ont été présentées à la 35^{ème} Assemblée, en octobre 2004 (Réf. 9).

B) L'isolement de l'Europe à la 35^{ème} assemblée de l'OACI

Lors de cette Assemblée, les États membres de l'Union européenne, conformément à la position adoptée par le COREPER fin juillet, ont demandé à la 35^{ème} Assemblée de l'OACI de reconnaître qu'ils pourraient instaurer sur le territoire de l'Union des redevances ou des taxes sur les émissions de gaz à effet de serre, y compris pour les vols exploités par des opérateurs non européens. L'isolement de l'Europe sur cette question a été total.

Les pays les plus virulents ont été les pays en développement. Selon eux, la Convention Cadre sur le Changement climatique et le Protocole de Kyoto engagent les pays industrialisés à limiter ou à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre mais exemptent, pour le moment, les pays en développement de mesures contraignantes.

Quant aux pays développés qui se sont vigoureusement opposés à l'Europe, au premier rang desquels les États-Unis, le Japon, la Russie et le Canada, ils ont notamment souligné que les pays européens n'étaient pas en mesure d'indiquer quels seraient les coûts sur la base desquels des éventuelles redevances sur les émissions seraient déterminées, ni quelle pourrait être l'affectation des ressources ainsi collectées. Enfin, ils ont fait observer que les études coût -efficacité qui avaient été soumises à

³⁹ Actuellement l'Annexe XVI ne traite pas des gaz à effet de serre. Mais il est prévu de la compléter en étendant la norme sur les émissions d'oxydes d'azote à toutes les phases de vol des avions, et non plus aux seules phases atterrissage –roulage – décollage qui contribuent le plus à la pollution locale.

⁴⁰ Depuis longtemps, l'Organisation a admis les redevances sur le bruit - à condition que les ressources soient affectées à la lutte contre le bruit - et les modulations de redevances aéroportuaires, à revenus constants, en fonction des performances acoustiques des avions. Elle avait également admis les redevances sur les émissions contribuant à la pollution locale. Cependant la légitimité des redevances sur les émissions a été plusieurs fois contestée par la Russie, les États Unis et les pays en développement notamment du fait que leur efficacité n'était pas démontrée et que les prélèvements opérés, en particulier, sur les transporteurs de pays en développement ne correspondaient pas à des dépenses de lutte contre la pollution.

l'OACI montraient toutes que les taxes et les redevances étaient peu efficaces par rapport à des systèmes d'échanges de quotas d'émissions.

Les pays européens ont finalement accepté le compromis proposé par le président de l'Assemblée. La possibilité pour les régions telles que l'Europe d'imposer des prélèvements (redevances ou taxes) sur les vols intra régionaux fondées sur les émissions de gaz à effet de serre est reconnue sous la réserve expresse que de tels prélèvements ne concernent que leurs propres transporteurs :

L'Assemblée :

Reconnaît que les orientations existantes de l'OACI ne suffisent pas actuellement pour mettre en œuvre des redevances sur les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle internationale, mais que l'introduction de ce type de redevances sur la base d'une entente mutuelle entre États membres d'une organisation d'intégration économique régionale, pour application aux exploitants des États en question, n'est pas interdite, et demande au Conseil :

de conduire d'autres études et d'élaborer des orientations supplémentaires sur ce sujet ;

de mettre un accent particulier sur les questions en suspens identifiées dans des études antérieures ainsi que par l'Assemblée ;

de viser à mener à bien ses travaux d'ici la prochaine session ordinaire de l'Assemblée, en 2007.

Prie instamment les États contractants d'éviter de mettre en œuvre de façon unilatérale des redevances sur les émissions de gaz à effet de serre avant la prochaine session ordinaire de l'Assemblée, en 2007, durant laquelle la question sera examinée et débattue de nouveau.

Demande au Conseil d'étudier l'efficacité des prélèvements sur les émissions liés à la qualité de l'air local, et d'élaborer de nouvelles orientations à ce sujet, d'ici la prochaine session ordinaire de l'Assemblée, en 2007, et prie instamment les États contractants de participer activement à cet effort et de partager les informations dont ils disposent.

Prie instamment les États contractants de garantir le plus haut niveau possible de cohérence avec les politiques et orientations de l'OACI en matière de prélèvements sur les émissions liés à la qualité de l'air local.

L'Assemblée a par ailleurs confirmé qu'elle entérinait le principe de la participation de l'aviation civile internationale à des échanges de quotas d'émissions et demandé au Conseil de travailler dans deux directions : incorporation des émissions de l'aviation internationale dans les programmes d'échange de quotas d'émissions des États contractants, conformément au processus de la CNUCC, et mise au point d'un système volontaire d'échange de quotas que les États contractants et les organisations internationales pourraient proposer.

En résumé, face à la croissance des émissions du transport aérien, force est de constater qu'il y a de grandes difficultés à définir collectivement des positions et des politiques communes au niveau international qui est incontestablement le plus pertinent pour le faire. Malgré sa détermination l'Union européenne s'est trouvée en difficulté à l'OACI face non seulement aux États-Unis mais aussi à un certain nombre de grands pays en voie de développement. Il semble donc nécessaire de définir des propositions plus facilement acceptables par nos partenaires et aussi de s'engager dans la mise en œuvre de mesures effectives pouvant servir d'exemple.

3. Quelles voies de progrès pour réduire les émissions de GES ?

Dans ce chapitre, nous passons en revue les différentes actions que pourraient entreprendre les acteurs de ce secteur (compagnies, opérateurs, industriels) pour améliorer les performances de l'aviation civile vis à vis de son impact sur le changement climatique. Il s'agit à la fois de mesures opérationnelles et de progrès technologiques qui ne pourront qu'être accélérés par des dispositifs normatifs ou économiques qui seront abordés dans le chapitre suivant.

3.1 L'action des compagnies

Le carburant constitue un poste de dépense important pour les compagnies aériennes (de l'ordre de 11 à 14% selon la période, les compagnies et les réseaux desservis). Ce poste s'est trouvé accru depuis 2004, avec la hausse du prix du pétrole et corrélativement celle du prix du kérosène⁴¹. La réduction de la consommation et donc des émissions de CO₂ est au cœur de leurs préoccupations. Les compagnies cherchent à limiter l'impact de leur activité sur l'environnement afin de poursuivre leur développement.

Air France s'est par exemple fixé comme objectif de **limiter le taux de croissance des émissions de CO₂ à la moitié de celui du trafic en PKT**⁴² (par exemple : 2% pour les émissions pour une croissance de 4% du trafic). Pour remplir cet objectif, la compagnie compte sur les améliorations de sa flotte et de ses modes opératoires. (Réf. 9 et 10).

A) L'optimisation des consommations de carburant

L'ensemble de ces mesures (entretien, réduction du poids, etc.) pourrait permettre une réduction de la consommation de carburant de 2% à 6%, selon le GIEC.

■ La limitation de la masse embarquée

Air France a, par exemple, mis en œuvre un plan «Action carburant» qui regroupe une série de mesures visant à réduire la consommation de carburant des avions tout au long de leur mission et à diminuer les émissions de polluants locaux au voisinage des aéroports. Toutes les actions préconisées limitent la masse embarquée sur les avions. En effet, il faut compter environ 300 kg de carburant pour transporter une tonne sur un vol long-courrier d'environ 8 heures.

Parmi ces mesures, on peut citer :

- La limitation de la quantité de kérosène embarqué, par multiplication des pleins dans les aéroports d'escale, ajustement à la masse réellement embarquée (procédure « Pleins partiels », mise en œuvre sur la quasi totalité des long-courriers pour lesquels la connaissance de la charge réelle 30 minutes avant le décollage permet d'optimiser l'emport du carburant), réduction de la réserve de route de 5 à 3% (abaissment de la quantité de réserve réglementaire au vu des progrès réalisés sur les prévisions de consommation) ;
- l'élimination progressive du double emport par la mise en place d'un catering⁴³ local dans les aéroports de destination ;
- la limitation de la masse d'eau emportée (l'emport a été réduit de 25% sur les avions long-courriers B777, A340, puis sur B747-400) ;
- la suppression du système de réfrigération de l'eau potable ;
- l'utilisation de containers plus légers.

⁴¹ Le prix du kérosène est ainsi passé de 0,231\$ le litre en 2003 (en moyenne) à 0,43\$ en novembre 2004.

⁴² Les progrès sont dus aux actions des différents acteurs du transport aérien (compagnies, opérateurs, industriels)

⁴³ Le catering recouvre l'ensemble des activités liées aux services à bord, et notamment la restauration.

- L'optimisation de la vitesse de croisière

L'optimisation de la vitesse de croisière est un moyen pour améliorer les performances environnementales des liaisons aériennes. Cependant les paramètres en jeu (vitesse et altitude) ne dépendent pas que des compagnies aériennes. L'amélioration des trajectoires de vol dépend également des services de la navigation et du contrôle aérien globaux (cf. §3.2 La gestion du trafic aérien et des aéroports).

- Un bon entretien des moteurs et des cellules

Un bon entretien des moteurs permet de réduire les consommations de carburant. Air France Industries a ainsi procédé à l'achat d'un outillage « rectifieuse à grande vitesse » (coût 2,3 M€, qui améliore les performances techniques des parties tournantes des moteurs et réduit ainsi leur consommation). Air France vise ainsi à économiser environ 1 000 tonnes de carburant par an, soit 3 150 tonnes de CO₂. Ce type d'action, qui se justifie aujourd'hui par la hausse des prix du pétrole mais qui n'est pas le fait de toutes les compagnies, loin de là, pourrait se généraliser si une mesure d'incitation financière (permis, taxe, redevance, *etc.*) était mise en œuvre.

De même, l'entretien des cellules peut faire économiser jusqu'à 500 litres de carburant par an et par avion, d'après l'OACI. Les appareils tendent en effet à se salir, aussi bien au sol qu'en vol. L'accumulation de poussières sur la carlingue nuit à son aérodynamisme, par conséquent un nettoyage permet non pas d'améliorer, mais simplement de préserver l'aérodynamisme de l'avion. Toutefois cette opération est longue et coûteuse ; là encore une incitation économique favoriserait un entretien plus rigoureux des cellules.

Il existe des possibilités d'amélioration de l'aérodynamisme des avions existants, notamment au niveau des ailes, par le biais de dispositifs appelés winglets. Ces dispositifs permettent d'améliorer des appareils d'ancienne génération en réduisant la traînée. Cependant, l'économie de carburant proprement dite ne peut justifier à elle seule les investissements nécessaires à l'installation de ces équipements. D'autres gains sont susceptibles de convaincre les compagnies aériennes : il peut s'agir de la capacité accrue de charge marchande ainsi obtenue - en lieu et place du carburant économisé- ou du rayon d'action supplémentaire.

B) Le renouvellement des flottes

La composition de la flotte mondiale et le renouvellement attendu de cette flotte par des appareils moins consommateurs constitue une voie de progrès pour la maîtrise des gaz à effet de serre de l'aviation.

Actuellement, si 39,5% de la flotte est constituée d'appareils de nouvelle génération (de conception postérieure à 1980), 40,5% sont de « mid-generation » de type B737-300, MD 80, B757-200, etc (appareils des années 70) et 20% d'ancienne génération. L'importance des appareils de mi-génération et d'ancienne génération est surtout significative en Amérique du Nord (70%), en Afrique (72%) et en Asie (52%) mais relativement faible en Europe (48%) surtout pour les avions d'ancienne génération (7%)⁴⁴.

Or, la composition de la flotte a un impact direct sur la part des dépenses de kérosène dans les charges totales : elle est de 10% pour les compagnies exploitant des appareils de nouvelle génération mais de 30% pour des compagnies exploitant des appareils plus anciens. En effet, les appareils de nouvelle génération (type A319) consomment en moyenne 20% de moins de fuel que les appareils de mid-generation (appareils des années 80) et 40% de moins que des appareils d'ancienne génération ; un appareil de plus grande capacité, type A 300, consomme 55% de moins qu'un DC10⁴⁵.

⁴⁴ Source : Airbus Global Market Forecast 2004-2023

⁴⁵ En général, on considère que 1/3 de la réduction de consommation provient des moteurs et 2/3 de la cellule.

Le renouvellement à venir des flottes⁴⁶ va donc favoriser de manière indirecte la consommation des avions et par voie de conséquence, une diminution des émissions de gaz à effet de serre à trafic constant. Pour autant, plusieurs facteurs déterminent l'importance du taux de renouvellement des flottes : le niveau du prix du pétrole brut (plus il est élevé, plus les compagnies tendent à renouveler leur flotte), le niveau d'activité et la situation financière des compagnies⁴⁷, laquelle peut-être affectée par le prix du pétrole.

C) Les propositions de l'Association des compagnies européennes (AEA)

L'Association des compagnies européennes (AEA) regroupe 31 compagnies aériennes européennes. Il s'agit de compagnies « généralistes », les compagnies régionales, les compagnies charters et les compagnies à bas coûts ne sont pas représentées.

Dès 1999, l'AEA a élaboré une position commune des compagnies sur la réduction des gaz à effet de serre. Elle a proposé à la Commission européenne de s'engager dans une logique d'accords volontaires négociés, fixant un objectif de réduction global pour le transport aérien (cf. partie 4.2). Pour les compagnies, il s'agit de ne pas être les seuls acteurs à supporter la charge de la réduction des émissions de gaz à effet de serre. La Commission n'a pas réagi à cette proposition. A l'époque la doctrine dominante au sein de la commission était le principe « Pollueur - Payeur », défendu dans le Livre Blanc rédigé sous la direction du commissaire au transport Neil Kinnock.

L'AEA s'est également penchée sur la question de l'intégration de l'aviation au système d'échange de quotas d'émissions européens (cf. partie 4.4). Pour l'instant, l'AEA n'a pas de position officielle sur le sujet. Officieusement, cette solution apparaît aux compagnies européennes comme une bonne alternative aux accords volontaires, sous certaines conditions et de loin préférable à tout type de taxation.

3.2 La gestion du trafic aérien et des aéroports

L'optimisation des routes et la régulation de la congestion (en route et au niveau des aéroports) sont des mesures susceptibles d'offrir un « double dividende » : gain de temps pour les passagers et pour les compagnies, et réduction des émissions de gaz à effet de serre. A l'instar des réductions obtenues par les compagnies aériennes, celles induites par l'optimisation des routes et la régulation de la congestion auraient un coût « négatif » pour la collectivité.

A) Amélioration de l'ATC et optimisation des routes

■ Impact des actions passées

La réorganisation de l'espace aérien parisien, avec l'introduction d'un 4^{ème} point d'entrée pour la zone de contrôle aérien de Paris, sur les vols de et vers Roissy-Charles de Gaulle et Orly, a permis de fluidifier le trafic, grâce à des trajectoires plus courtes, et d'améliorer ainsi à la fois la consommation de carburant et la ponctualité des vols sur Roissy-CDG. Cette réorganisation a fait l'objet d'une estimation par Air France : elle devrait se traduire par une réduction des émissions de CO₂ d'environ 15 000 tonnes par an.

De même, l'organisation des séparations de l'espace aérien supérieur en Europe, en février 2002, a contribué à réduire les émissions des avions. L'amélioration de l'ATS (« Air Traffic Services »), c'est-à-dire la redéfinition des routes (en cours).

⁴⁶ Selon les travaux de l'OACI, l'âge moyen de retrait de service des avions de passagers dans le monde est de 27 ans.

⁴⁷ Voir à ce sujet l'article sur la situation financière des compagnies américaines dans Le Monde 2 février 2005 : « Les compagnies US victimes du pétrole et du dollar ».

■ Mesures envisageables

Concernant les trajectoires, il est reconnu que les routes utilisées ne sont pas optimales, notamment en raison des zones militaires, du réseau des routes prédéfinies et de la densité de la région de contrôle terminales (TMA) dans l'espace européen (importance du trafic et proximité des TMA). Eurocontrol considère que quelques progrès sont encore possibles en termes de consommation de carburant et les estime de l'ordre de 4% pour la route, 2% en raison du fait que les compagnies ne respectent pas réellement les trajectoires données, et 2% grâce à l'ATC (notamment par une meilleure gestion des départs et des arrivées limitant les attentes au sol moteurs en route).

La mise en œuvre du système « Free Route » (suppression des routes et libre choix des trajectoires par les opérateurs) devrait, à moyen, contribuer à limiter la consommation de kérosène, y compris par l'optimisation des altitudes de vol. Toutefois, cette solution ne semble aujourd'hui utilisable qu'avec des densités de trafic faible ou avec un système très automatisé.

A plus long terme, deux systèmes devraient permettre une meilleure optimisation des trajectoires tout en assurant la sécurité et la capacité du système :

- la navigation en 4D qui permettrait en réduisant les incertitudes sur les trajectoires futures, une meilleure anticipation et moins de manœuvres inutiles ;
- une fonction embarquée (ASA) permettant aux avions de maintenir la séparation entre eux.

Les gains environnementaux possibles (moindres émissions de CO₂) pouvant être obtenus grâce à une plus grande efficacité du contrôle aérien ont fait l'objet de diverses évaluations. Un gain de 10% à 15% selon les industriels dans le cadre du projet ACARE (cf. partie 3.3.A), 5% et 12% dans le GIEC et 8% selon le CENA et EUROCONTROL sont cités (Réf. 11). La fourchette de 5 à 10 % paraît raisonnable mais il faut bien voir que cela concerne l'Europe occidentale et certaines autres parties du monde où l'espace aérien est encombré. On ne saurait donc appliquer brutalement ces taux à l'ensemble du trafic mondial.

B) La gestion des aéroports (Réf.12 et 13)

Les aéroports sont en général tout à fait sensibilisés à la maîtrise des impacts environnementaux locaux qui conditionne leur développement. La problématique des émissions de gaz à effet de serre leur apparaît plus marginale et plus nouvelle aussi.

Les émissions dont les aéroports sont directement responsables sont peu nombreuses : elles concernent les activités industrielles et tertiaires (centrales d'énergie pour l'électricité, le chauffage et la climatisation) et les conditions d'exploitation des plates-formes. Ces leviers d'actions dont les aéroports disposent sont limités :

- la conception des aéroports et notamment, la longueur des taxiways : plus la longueur des taxiways est importante, plus la consommation de kérosène pour le roulage au sol l'est. A CDG, par exemple, le temps de roulage moyen est de l'ordre de 26 minutes ; durant cette phase, les principales émissions sont du CO et des hydrocarbures imbrûlés⁴⁸. ADP a ainsi proposé de nouvelles bretelles d'accès aux pistes afin de diminuer le temps de roulage. Air France estime que la phase de roulage est à l'origine de 3% de ses émissions de CO₂ ;
- le nombre de postes au contact (plus le nombre de important, moins nombreux sont les avions qui stationnent sur le tarmac ce qui implique l'affrètement d'autocars pour le débarquement des passagers) ;
- les conditions d'exploitation des aéroports : l'utilisation de véhicules propres (y compris les autocars assurant l'embarquement ou le débarquement des passagers des appareils stationnés sur le tarmac), le développement des alimentations électriques en remplacement des APU pour les émissions de NOx et de CO₂ ; pour ce qui concerne le tractage des avions,

⁴⁸ Au sol, les moteurs tournent au ralenti, ce qui se traduit par des combustions incomplètes et donc des rejets des monoxydes d azotes et d'hydrocarbures imbrûlés.

l'utilisation de tracteurs électriques ou diesel (pour les plus gros avions) permet de limiter les émissions ;

- et plus particulièrement, pour Paris-CDG, la mise en service d'une centrale énergie fonctionnant sur le principe de la cogénération.

En revanche on ne doit pas négliger des moyens d'actions indirectes sur les compagnies : au travers des règles imposées pour des questions d'environnement local (bruit, NOx), qu'il s'agisse de plafonds d'émission, d'interdiction d'appareils trop bruyants, de modulation de redevance les aéroports peuvent encourager les compagnies à renouveler plus rapidement leur flotte (voir notamment 4.3.C les redevances d'atterrissage : support à l'internalisation des nuisances locales).

Par ailleurs, les aéroports peuvent intervenir en faveur d'une amélioration des conditions d'accès à leurs infrastructures et notamment, par le développement de l'utilisation des transports collectifs.

L'association internationale regroupant les aéroports au niveau mondial (ACI⁴⁹) témoigne largement de l'importance que ses membres attachent à la réduction des émissions gazeuses et de leurs engagements en ce domaine : amélioration de l'efficacité énergétique, du stockage de l'énergie, développement des transports publics pour accéder aux aéroports tant pour les passagers que pour les employés, participation au marché des droits d'émissions, etc. Cette position est clairement justifiée : les aéroports savent que l'augmentation de leurs capacités sera de plus en plus difficile et que ce n'est qu'en démontrant sa capacité à contrôler ses émissions que le secteur aérien pourra continuer de se développer.

La conclusion d'un **accord volontaire avec l'ensemble des opérateurs** du secteur (compagnies, aéroports, opérateurs du trafic aérien), tel que l'a proposé l'AEA en 1999, d'abord au niveau européen permettrait un pas supplémentaire.

Recommandation n°1 - Fédérer les opérateurs (aéroports, contrôle aérien) au niveau français puis européen dans un engagement volontaire sur un ensemble d'actions à mener dans les 10 ans à venir, pour améliorer l'efficacité énergétique globale et les performances environnementales du transport aérien en Europe, complémentaire de l'action des compagnies. S'appuyer sur l'AEA et l'AIA en utilisant les travaux déjà entrepris dans ces deux associations. Harmoniser notamment les mesures locales prises au niveau des grandes plates-formes aéroportuaires.

3.3 *Substitution modale et mobilité durable*

Les politiques intérieures de transport des pays industrialisés⁵⁰ sont dans leur ensemble très attentives aux impacts environnementaux du transport aérien.

En France, les objectifs de la politique des transports, tels que fixés lors du CIADT du 18 décembre 2003, et réaffirmés en ce début d'année 2005, visent entre autres à opérer un rééquilibrage des différents modes de transports, en favorisant leur développement dans chacun de leur domaine de pertinence. Ainsi les huit projets de lignes nouvelles à grande vitesse qui y figurent ne peuvent que renforcer l'importance du trafic TGV par rapport au trafic aérien, notamment pour les trajets à moins de 4h, limitant de ce fait la croissance du trafic du transport aérien et pesant indirectement sur le volume de ses émissions gazeuses.

L'intérêt du TGV sur le plan des émissions de CO₂ est avéré. Il n'est assurément pas convenable quand on raisonne à l'échelle de l'Europe et a fortiori au niveau mondial de considérer que l'énergie

⁴⁹ Airport Council International

⁵⁰ Au Royaume-Uni, par exemple, la politique des transports (Réf. 14) reconnaît la nécessité d'avoir une approche équilibrée, tenant compte de l'importance du transport aérien dans la croissance économique, de la demande de mobilité, mais reconnaît que les tarifs doivent refléter les coûts réels (yc environnementaux et sociaux), que les capacités aéroportuaires doivent en priorité être mieux utilisées (avant que d'en construire de nouvelles), et que les droits et les intérêts de ceux qui sont affectés par cette croissance doivent être respectés.

utilisée par le TGV est « sans carbone » (l'électricité majoritairement nucléaire étant une exception française). Si l'on raisonne en énergie primaire, c'est à dire en considérant que l'électricité serait produite par des centrales thermiques une étude récente (Réf. 15) évalue, pour des distances de 500 km, la consommation moyenne par passager-km à 15 gep/pkt pour le TGV et entre 40 et 50 gep/pkt pour l'avion, soit trois fois plus.

En 2003, le trafic aérien sur les lignes intérieures concurrencées par un TGV avec un temps de parcours de moins de quatre heures était d'environ 8 millions de passagers soit 35% du trafic aérien intérieur ; sur les liaisons intra-communautaires, il était de 3,9 millions de passagers, soit 10,4% du trafic aérien intra-communautaire.

Les marges de progression pour le TGV se situent dans deux domaines différents :

- dans la complémentarité modale (ou intermodalité), cas où le passager se rendant à un aéroport pour prendre un vol utilise le mode ferroviaire ;
- dans la substitution, cas où un passager qui utilisait le transport aérien sur un trajet déterminé lui substitue le transport ferré, le domaine qui concerne la plupart des reports modaux.

Les reports modaux de l'aérien vers le ferroviaire pour ces deux domaines ont ainsi été estimés à environ 18 millions de passagers à l'horizon à 2020, ce qui capterait 9% du trafic aérien total estimé à cette échéance et éviterait l'émission de 2,0 millions de tonnes de CO₂ par le transport aérien. En d'autres termes, par rapport aux estimations présentées en 1.4, les émissions du transport aérien, en l'absence de développement du TGV, seraient supérieures de 7% à leur volume estimée pour 2020.

Au niveau européen, le rôle du TGV est également à considérer. Les projets contenus dans le Réseau Trans-Européen de la Commission Européenne (TEN-T) sont nombreux pour le ferroviaire, renforçant d'autant les 78 000 km de réseau déjà existant. Y figurent notamment, des lignes à grande vitesse à réaliser d'ici 2015, avec l'objectif, de réduire les émissions de CO₂ de 17 millions de tonnes par an (soit 10% des émissions européennes actuelles).

Tableau 13 : Lignes à grande vitesse dans le monde

Zone	Longueur totale en km	En service	En travaux	En projet
Europe	7 637	3 039	2 723	1 875
Asie	4811	2175	273	2363
Total Monde	12 448	5 214	2 996	4238

Source : Union Internationale des Chemins de fer

Au plan mondial, seule l'Asie (Corée du sud, Japon, Chine, Taiwan) bénéficie des lignes à grande vitesse. Elles totalisent actuellement 4 811 km dont 2175 sont en service. Même si les besoins sont considérables, la réalisation des projets connus (2 363 km) se heurte à des problèmes de financement.

Cela étant, et plus généralement, la contribution des réseaux à grande vitesse à la limitation des émissions de gaz à effet de serre du transport aérien pour significative qu'elle puisse être sur certains marchés en Europe et dans d'autres pays, n'en demeure pas moins limitée. En effet, l'expérience montre que le domaine de pertinence des TGV par rapport au transport aérien est maximal pour des temps de trajets inférieurs à 3h-3h30 alors que l'essentiel du trafic aérien mondial correspond à des déplacements moyen et long courrier, voire intercontinentaux. La rentabilité socio-économique de tels investissements est également un facteur limitant; en effet, seules des liaisons desservant des zones à forte densité de population permettent de traiter des volumes de trafic suffisant pour assurer un retour sur investissement acceptable pour la collectivité.

Les politiques des transports ne se limitent pas à proposer des alternatives au transport aérien comme le TGV. Elles doivent viser à développer des nouveaux comportements de « mobilité durable ». De telles politiques sont mises en œuvre pour les déplacements à courte distance et moyenne distance. Elles sont basées sur un usage plus rationnel de l'automobile et des stratégies plus coordonnées d'aménagement du territoire et de l'espace.

Leur transposition au domaine des déplacements à longue distance n'est pas aisée, d'autant plus que c'est principalement là que s'exprime la croissance de la mobilité dans les pays développés tout au moins. Ainsi, entre les deux dernières enquêtes nationales disponibles, près d'un tiers du kilométrage supplémentaire parcouru par les Français l'a été pour effectuer des déplacements d'une portée de plus de 500kms, contre seulement moins d'un quart dans des déplacements inférieurs ou égal à 25 kms.

Toutefois, un effort plus volontariste en matière d'utilisation des technologies de l'information pour limiter les déplacements voire une plus grande sélectivité dans les délégations dans certaines manifestations internationales aurait nécessairement un effet bénéfique sur les émissions de gaz à effet de serre. Il faut toutefois tenir compte du fait que les échanges face à face resteront souvent nécessaires et que pour les déplacements à très longue distance, la substitution par des téléconférences étant compliquée par le décalage horaire.

3.4 *L'action de l'industrie : performances environnementales des avions et des carburants*

L'aviation civile a enregistré des évolutions notables au cours des dernières décennies. Ces progrès ont été particulièrement marquants dans le domaine environnemental, les Etats ainsi que les institutions européennes ont pu consentir des efforts significatifs en matière de recherche et de développement accompagnant l'effort de l'industrie.

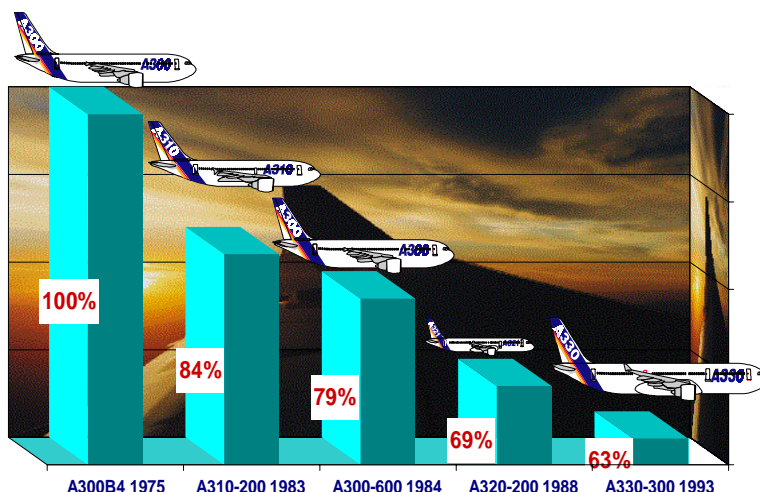
L'intérêt des progrès technologiques, qu'il porte sur les avions et les moteurs ou sur les carburants (qui seront examinés successivement), c'est qu'il a très rapidement une diffusion mondiale, ce qui est particulièrement apprécié dans le cas qui nous occupe.

A) Les avions et les moteurs

- **Les progrès réalisés en matière d'efficacité énergétique**

Soucieux de réduire les coûts d'exploitation, la consommation et les gênes susceptibles d'être occasionnées, les « avionneurs et les motoristes » ont accentué leurs efforts de recherches et de développement. L'acquisition de nouvelles technologies, la maîtrise accrue dans l'appréhension des phénomènes physiques et chimiques ainsi que la modélisation numérique ont permis de réaliser des avancées significatives.

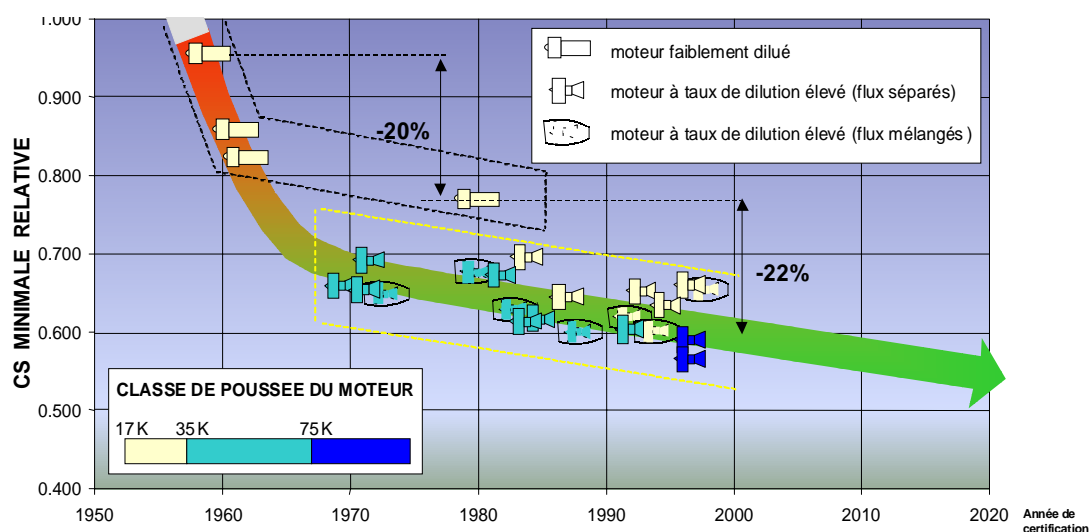
Tableau 14 : Évolution de la consommation par passager-kilomètre-transporté



Les émissions de CO₂ rapportées au passager kilomètre transporté, ont enregistré une baisse qui est schématisée par la figure précédente.

En moyenne, la consommation spécifique (masse de kérosène consommée rapportée à la poussée développée des moteurs) a ainsi diminué de près de 40% sur les 40 dernières années.

Tableau 15 : Évolution de la consommation spécifique minimale en croisière



Parallèlement, les émissions de CO₂ (proportionnelles à la consommation), et les nuisances sonores, ont également suivi une réduction très importante au cours des dernières décennies, similaire à celle de la consommation. Ainsi, les progrès technologiques ont permis une diminution de 20 dB du bruit à la source, au cours des quarante dernières années.

Ces importantes réductions ont été rendues possibles principalement grâce aux progrès technologiques suivants :

- le passage de la technologie des moteurs “ simple flux ” à celle des moteurs “ double flux ” à flux séparés puis à flux mélangés ; en effet, dans le moteur à double flux, il existe un flux d’air qui ne participe pas à la combustion et qui de ce fait demeure « froid » et non polluant tout en générant une poussée ;
- l’accroissement du taux de dilution (rapport entre la masse d’air constituant le flux « froid » sur celle du flux « chaud ») des moteurs à double flux. Ce ratio est ainsi passé de 1 environ

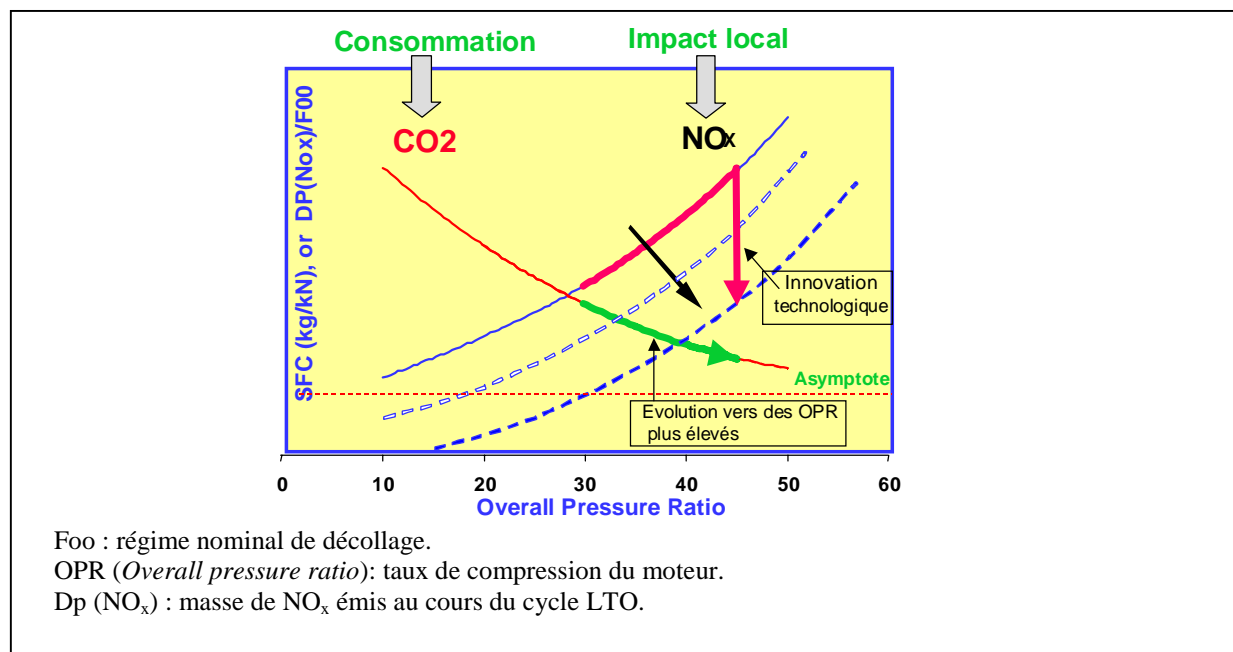
pour les premiers réacteurs double flux (par exemple les vieux moteurs JT8-D équipant les DC-9 et les premières générations de Boeing 737) à 9 voire 11 pour les réacteurs modernes développant de fortes poussées (ex : réacteurs GE90 du B777 et les moteurs GP7000 ou Trent 900 de l'Airbus A380) ;

- l'amélioration de l'efficacité générale des turbomachines, avec notamment une meilleure conception du système de régulation associé et l'avènement des moteurs à fort taux de compression, ce taux ayant pratiquement doublé au cours des 20 dernières années.

D'autre part, les progrès réalisés sur les chambres de combustion ont permis de limiter l'augmentation de la formation des NO_x résultant de l'accroissement des taux de dilution et de compression.

En effet, il existe un compromis à trouver (cf. graphique ci-dessous), en termes de taux de compression, entre les émissions de CO₂ et celles de NO_x (quand les unes diminuent, les autres augmentent) et les émissions sonores. La charnière se trouve aujourd'hui à des taux de compression voisins de 30 et 40.

Tableau 16 : Le compromis CO₂ – NO_x



Il semble toutefois que ce compromis (trade-off) puisse à terme être partiellement déplacé grâce à de nouvelles technologies et de nouveaux carburants.

C'est en effet au niveau de la chambre de combustion que se concentrent les principaux efforts pour réduire les émissions autres que le CO₂. L'architecture de la chambre et le système d'injection jouent un rôle primordial. Le passage des chambres de combustion annulaires mono-tête aux chambres de combustion étagées double tête a en effet permis de réduire les émissions de NO_x de 35% et celles de suies de 50%.

Un des axes de recherche actuels est un retour aux chambres simples têtes avec des systèmes d'injection plus sophistiqués et une meilleure optimisation de la dilution dans le cœur de la chambre (cas des nouvelles chambres du CF6).

▪ Les perspectives d'avenir : le programme ACARE

Créé en juin 2001, à la suite d'un rapport d'un groupe de personnalités sous l'égide de la Commission Européenne (Réf.17), le conseil pour la recherche aéronautique en Europe (ACARE) qui regroupe les constructeurs et les représentants des administrations des 25 pays membres de l'Europe est aujourd'hui le plus avancé des centres de réflexion prospective en Europe. Cette instance a récemment

mis à jour son agenda de recherche stratégique (SRA-2). L'un des objectifs cibles de haut niveau de cet agenda stratégique concerne justement l'objectif sociétal d'une aviation « Ultra-verte ».

Le transport aérien futur doit en effet s'inscrire dans un cadre de développement durable, tout en offrant les progrès attendus par les passagers sur le plan du confort, de la rapidité et des coûts.

Les objectifs fixés par ACARE, pour les deux prochaines décennies, sont ambitieux en matière d'émissions et de bruit, dans un contexte de doublement du trafic aérien :

- réduction de 50% du bruit ;
- réduction de 80% des NOx⁵¹ ;
- réduction de 50% des CO₂⁵².

Ces objectifs ne pourront être atteints que par l'utilisation de nouvelles technologies de rupture, en plus des progrès incrémentaux permanents réalisés par l'industrie, et par une approche globale du problème.

De tels objectifs nécessitent des améliorations au niveau des différentes composantes du transport aérien. Par exemple, les contributions respectives envisagées pour les objectifs de réduction d'émission de CO₂ sont de : 15 à 20% pour les moteurs, 20 à 25% pour la cellule avion (et intégration du système propulsif cellule/moteur), et le reste étant apporté par l'amélioration des systèmes de navigation aériennes déjà évoqué.

ACARE propose donc de lancer un projet fédérateur rassemblant avionneurs, motoristes, équipementiers, organismes du contrôle aérien et de régulation, dans lequel les innovations technologiques seraient encouragées et testées dans des plates-formes virtuelles intégrées. Ce projet comporterait notamment :

- l'étude de nouvelles configurations d'avions basées sur l'optimisation multidisciplinaire prenant comme données d'entrées les contraintes environnementales et les coûts ;
- de nouvelles architectures de moteurs, l'usage accru de matériaux composites pour alléger les structures, de nouveaux carburants ;
- la remise en cause systématique et coordonnée de tous les métiers concourant au développement des cellules, moteurs et équipements, à tous les stades : avant-projet, développement, fabrication, maintenance, fin de vie (recyclabilité).

■ Des priorités environnementales à définir

La poursuite de l'amélioration des performances environnementales de l'aviation dépend à la fois de la capacité des compagnies aériennes à renouveler leurs flottes et de la capacité des industries à disposer de ressources suffisantes pour la recherche et le développement et à employer celles-ci à bon escient.

Le PDG d'Airbus déclarait récemment⁵³ : « *En 2003 notre investissement dans le recherche et le développement a atteint 1,8 milliard d'euros. Ce n'est possible que dans un cadre réglementaire international clair et stable et ceci est la principale tâche de l'OACI* ».

L'industrie souhaite que lui soit fixé des objectifs à long terme reflétant, d'une part, l'évolution des priorités environnementales et d'autre part, les interdépendances techniques entre gains environnementaux. Les possibilités de réduction de la consommation de kérosène, par exemple, dépendent de l'évolution de la sévérité des normes d'émission de bruit, d'oxydes d'azote, de particules, d'hydrocarbures imbrûlés et de monoxyde de carbone. Chaque norme correspond généralement à des phases particulières de vol et à des caractéristiques particulières des avions et des

⁵¹ Dont 30% venant de la réduction de la consommation de kérosène.

⁵² Par PKT.

⁵³ IATA Environmental Review 2004 (Réf. 18).

moteurs. La définition d'objectifs à long terme pour chaque phase de vol et pour quelques grandes catégories de type d'avion est une tâche complexe.

Pour répondre à cette demande, les États-Unis ont créé en 2004 un « Centre d'excellence pour la limitation du bruit et des émissions des avions ». Il associe des grandes Universités (Stanford, MIT, PSU...), la NASA et les centres de recherche de l'industrie. Le centre est financé pour moitié par des fonds fédéraux. Il travaille sur différents aspects complémentaires de l'impact environnemental de l'aviation mais comme l'indique son programme : *« As we push the edges of technology to meet public expectations, aerospace systems will become more complex and interdependencies between noise and emissions, amongst aviation emissions, and economics will drive the science agenda. This philosophy will drive the Center. »*

L'étude des interdépendances environnementales a été inscrite au programme du comité CAEP de l'OACI. L'Europe jusqu'à maintenant a été réticente pour contribuer à ces travaux, craignant qu'ils fournissent des arguments pour renoncer à accroître la sévérité de normes environnementales. Il paraît au contraire souhaitable d'y participer activement afin, d'une part, d'aider l'industrie à orienter ses efforts de recherche et de développement et, d'autre part, de mieux éclairer les décisions en matière de normalisation.

- Un éventail technologique très large à resserrer

Un éventail de technologies a d'ores et déjà été identifié afin de pouvoir développer progressivement les innovations et les ruptures technologiques qui devraient pouvoir permettre d'atteindre à terme ces objectifs propres au concept « Ultra-vert » fixés par le conseil ACARE.

Les améliorations attendues pour les moteurs se situent dans la lignée de celles déjà réalisées : accroissement du taux de dilution et du taux de compression avec des étages de compresseur fortement chargés, température de fonctionnement accrue grâce à des matériaux plus résistants, carters plus légers.

Des améliorations moins conventionnelles pourraient aussi apparaître telles que des installations motrices développant une puissance variable, des soufflantes (premier étage du compresseur) non carénées, simples ou doubles, contrarotatives, et des moteurs à échangeurs thermiques à forte efficacité.

Quant à la cellule et à la traînée qu'elle génère, des améliorations sont anticipées sur l'aérodynamique, via des dispositifs de bout d'aile optimisés, une meilleure intégration de la voilure, du système propulsif, de la nacelle ainsi que des surfaces de contrôle.

Des gains significatifs sont aussi attendus des diminutions de masse des aérostructures autorisées par l'utilisation massive de matériaux composites évolués, l'avènement des techniques de soudage laser, l'emploi de titane pour les trains d'atterrissage, l'utilisation de nouvelles peintures et l'optimisation des structures. Ainsi le Boeing 787 comportera 40% de matériaux composites notamment dans la voilure, alors que le projet A350 n'en comportera que 20 à 25%. Ce qui montre qu'il semble exister, dans ce domaine, un certain retard de l'industrie européenne par rapport à ses concurrents américains.

D'autres gains substantiels sont aussi envisagés dans le domaine de l'architecture avion avec des concepts de stabilité réduite, de configurations d'installations propulsives originales, de nouvelles formules d'empennage, de fuselage porteur ou encore d'ailes volantes.

Enfin, des améliorations non négligeables devraient résulter de l'effet de taille induit par l'utilisation d'appareils à fortes capacités et long rayon d'action.

- Préparer les ruptures technologiques

En tant que vecteur énergétique l'hydrogène présente potentiellement de multiples avantages. Il en est ainsi de ses propriétés énergétiques, de sa disponibilité et de l'émission quasi exclusive d'eau après combustion.

La piste de l'utilisation de l'hydrogène liquide comme carburant pour la propulsion des avions ne pourrait être une solution technique qu'à long terme (2050). Elle a fait l'objet de nombreuses recherches en matière de propulsion des aéronefs.

Les conclusions du projet de recherche CRYOPLANE, financé par la Commission et piloté par Airbus, montrent que l'emploi de l'hydrogène est techniquement faisable mais que le passage à ce combustible nécessiterait de revoir profondément la conception des avions et des moteurs. L'utilisation de l'hydrogène pose également des problèmes de sécurité. Par ailleurs, le contenu en gaz à effet de serre (dans une approche du puits à la roue) ne serait pas négligeable dans le mode de production actuel (décarbonatation du méthane).

Les problèmes qu'il soulève en matière de sécurité sont multiples. L'hydrogène présente une large plage d'inflammabilité. De plus, le mélange de ce gaz avec l'oxygène de l'air, s'il se produit dans des proportions stœchiométriques, est susceptible de générer des détonations.

Le recours au vecteur énergétique que constitue l'hydrogène pose enfin de nombreux problèmes de production (sans carbone émis dans l'atmosphère et à un coût raisonnable) et de logistique (plus compliqués dans le domaine des transports aérien) aujourd'hui non résolus.

Les piles à combustible ne pourraient quant à elles constituer la base d'un système de propulsion pour les avions. Mais en revanche peuvent trouver une application comme substitut aux groupes auxiliaires de puissance.

Parmi les études exploratoires figurent aussi celles ayant trait à l'utilisation du plasma. Celui-ci pourrait être mis en œuvre tant en matière de combustion que d'aérodynamique.

En résumé les propositions ACARE qui proposent une amélioration d'efficacité énergétique des avions à l'horizon de 2020 de 40% pourraient servir de base à un programme européen ambitieux dans le cadre du 7^{ème} PCRD pour lequel la Commission doit faire une première proposition au 1er trimestre 2005 : l'Europe pourrait alors proposer aux Etats-Unis (où cette question a fait l'objet d'analyses convergentes sous l'impulsion de la NASA) de conclure un engagement analogue avec leurs industriels.

Il paraît d'ailleurs légitime que le soutien à la recherche aéronautique européenne soit dorénavant prioritairement ciblé sur des objectifs de politique environnementale, qui en l'espèce ne sont pas antinomiques avec des préoccupations économiques de compétitivité de l'industrie et le seront d'ailleurs de moins en moins. La décision récente de trouver une solution négociée au conflit Europe - États Unis sur les aides d'État consenties à Airbus ou Boeing constitue une circonstance très favorable pour remettre à plat un système qui n'a pas d'équivalent dans les autres secteurs d'activité.

B) L'amélioration du kérosène, les biocarburants et le kérosène de synthèse

Comme on l'a vu précédemment, le kérosène actuellement utilisé dans les avions génère des particules et des aérosols qui, en altitude, forment des noyaux de condensations responsables de la formation des traînées de condensation et des cirrus. Le rapport GIEC « L'aviation et l'atmosphère planétaire » (Réf. 2) indique, à la page 270 : « Par conséquent, l'acide sulfurique demeurera le précurseur le plus important d'aérosols volatils formés dans des panaches d'échappement d'avion à moins que la teneur en soufre de carburant diminue au-dessous du 100µg par g » et page 268: « de telles particules [volatiles], si elles sont suffisamment grosses, peuvent agir en tant que noyaux de condensation ou peuvent interagir avec la suie pour former des noyaux de condensation, et ont par conséquent un rôle important dans la formation des traînées de condensation et peut-être même des cirrus ».

Il convient donc d'examiner dans un premier temps l'amélioration de la composition du kérosène afin de réduire ses effets sur le changement climatique. On notera notamment, dans la mesure où des incertitudes scientifiques subsistent quant à l'importance des phénomènes augmentant de manière très sensible l'effet radiatif et donc l'impact du transport aérien sur le climat, qu'il est aussi nécessaire de poursuivre activement les travaux de recherche (dans le cadre du GIEC) afin de réduire ces marges d'incertitudes mais sans que cela interdise d'agir. On s'interrogera ensuite dans ce chapitre sur la

possibilité pour l'aviation civile de recourir à des carburants issus de la biomasse et donc susceptibles d'avoir un effet nul ou très faible en matière d'émissions nettes de CO₂.

- L'amélioration de la formule du kérosène

Le kérosène JET A1 qui est utilisé pour l'aviation commerciale doit répondre à des spécifications (ASTM D 1655-03, Défense standard 91-91, NATO F 35). Celles-ci ont pour objet d'assurer le bon fonctionnement et la sécurité des turbomachines d'aviation. Elles ne prennent pas en compte les possibilités de réduire leur impact sur l'atmosphère en réduisant la teneur en soufre et en composés aromatiques.

La teneur en soufre du kérosène commercialisé en Europe est nettement inférieure, en moyenne (500 ppm), à la limite fixée dans la spécification ASTM qui est de 3 000 ppm. Cette limite pourrait être abaissée pour éviter la formation de particules volatiles qui jouent un rôle dans la formation des traînées de condensation si les effets bénéfiques étaient confirmés et les inconvénients éventuels surmontés (le pouvoir lubrifiant du kérosène doit rester supérieur à la limite fixée de 0,85).

Il ne semble pas que des travaux de recherche importants aient été entrepris sur cette question contrairement à ce qui a été fait pour l'automobile dans le cadre du programme Auto-Oil qui a accompagné l'évolution des normes concernant les carburants (notamment l'abaissement de la teneur en soufre, ramenée au 1^{er} janvier 2005 à 50 ppm). On notera également que l'Institut Français du Pétrole (IFP) n'a apparemment eu aucune sollicitation des entreprises aéronautiques ou des pouvoirs publics pour travailler sur cette question.

Par ailleurs, il a été constaté que l'évolution des procédés de raffinage en Europe, probablement sous l'influence des exigences fixées pour les carburants automobiles, avait entraîné dans certains pays une réduction sensible de la teneur en composés aromatiques (dont la teneur doit, selon les spécifications actuelles, rester inférieure à 25%,) ce qui a eu un effet bénéfique sur la réduction des émissions de particules et aussi, à moindre titre, sur les émissions d'oxydes d'azote.

Le comité CAEP de l'OACI doit examiner l'opportunité d'abaisser les limites maximales fixées pour le soufre et les aromatiques en prenant en compte l'ensemble des conséquences d'un tel abaissement. Afin d'accélérer ce processus, l'Europe pourrait prendre une initiative dans ce domaine. Il serait souhaitable, à cette occasion, d'examiner les avantages d'incorporer dans le kérosène JET A1 des additifs pour réduire les émissions de particules. Des expériences montrent, en effet, la possibilité avec certains additifs de réduire de 15% les émissions de particules dont le rôle est néfaste à la fois pour le changement climatique et pour la pollution locale.

- Les biocarburants existants

L'intérêt des biocarburants vient de ce qu'ils réduisent considérablement, voire suppriment totalement, les émissions nettes de CO₂ dans la mesure où dans le cycle du carbone leur utilisation se trouve compensée par une absorption équivalente de CO₂ par les végétaux. Le bilan est donc égal à zéro si aucun combustible fossile n'intervient dans leur fabrication ou en substitution d'autres usages.

La perspective d'un cours mondial des produits pétroliers s'établissant durablement à 50\$ le baril est une hypothèse aujourd'hui très plausible qui modifie sensiblement le bilan économique qui jusqu'alors s'avérait défavorable.

L'incorporation de biocarburant dans les carburants automobile a fait l'objet d'une directive européenne en 2003 qui précise un objectif d'incorporation de 5,75 % de carburant d'origine végétale en 2010. Dans le cadre du Plan Climat, la France a décidé de suivre cette recommandation. Aucune initiative analogue n'a été prise concernant le transport aérien. Ce qui semble paradoxal, puisque ce mode de transport, plus encore que les véhicules routiers, est durablement dépendant des combustibles liquides à haute densité énergétique.

Les biocarburants sont employés en mélange dans les essences et le gazole dans les moteurs conventionnels sans modification. Les deux familles de biocarburants développées en France depuis le

début des années 1990 sont l'éthanol et les esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV). L'utilisation de l'éthanol comme carburant a surtout été développée aux États-Unis et au Brésil.

Les deux carburants verts actuellement utilisés pour l'automobile ne sont pas compatibles avec les exigences des avions à réaction pour trois raisons : les énergies spécifiques sont inférieures, ils augmenteraient les risques d'instabilité (*flash points* trop bas) et créeraient des problèmes d'oxydation⁵⁴.

▪ Le kérosène de synthèse

Le procédé de synthèse de carburants liquides à partir d'un mélange gazeux a été découvert en 1923 par les scientifiques allemands Fischer et Tropsch. Les carburants de synthèse ainsi obtenus sont caractérisés par l'absence de composé aromatique, de soufre et d'impureté.

Le mélange gazeux à l'origine de la synthèse des carburants liquides peut être obtenu à partir de différents composés carbonés. Le procédé Fischer Tropsch a été initialement utilisé avec le charbon durant la seconde guerre mondiale mais il peut s'appliquer aussi bien au gaz naturel qu'à la biomasse dès lors qu'un procédé de gazéification est disponible⁵⁵. Dans notre réflexion, seul un carburant issu de la biomasse présente un intérêt en matière d'émission nette de gaz à effet de serre.

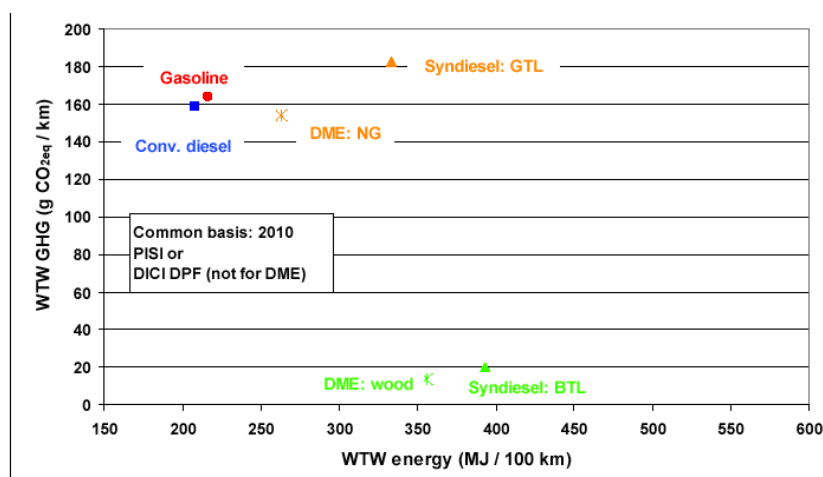
La production de carburants de synthèse à partir de la biomasse (cf. Annexe 8), procédé BTL (Biomass to Liquid), utilise la biomasse lignocellulosique (bois, résidus de l'exploitation et de l'industrie du bois, pailles de céréales, tiges de maïs, cultures énergétiques dédiées comme les taillis à courte rotation, les peupliers, les eucalyptus, les déchets comme les déchets ménagers, voire les déchets organiques comme les boues des stations d'épuration ainsi que les sous produits d'industries comme les papeteries). La biomasse est gazéifiée par voie thermochimique et transformée en carburant liquide par procédé Fischer-Tropsch. C'est une des filières les plus prometteuses en ce qui concerne le bilan carbone comme le montre la figure (ce qui vaut pour le diesel vaut pour le kérosène).

⁵⁴ Le rapport GIEC (p. 257) mentionne en outre que l'utilisation de biocarburants oxygénés pourrait entraîner des émissions au niveau du sol d'aldéhydes et d'acides organiques dangereux pour la santé.

⁵⁵ La production de kérosène de synthèse à partir du charbon gazéifié par le procédé, dit CTL (Coal to Liquid), a été utilisée par l'Allemagne pendant la seconde guerre mondiale et par l'Afrique du Sud sous embargo. La compagnie sud-africaine SASOL produit aujourd'hui 150.000 baril/jour de carburants CTL. Les carburants produits sont moins polluants que ceux obtenus à partir du raffinage de pétrole brut. Cependant, la production elle-même entraîne de fortes émissions de CO₂.

La fabrication de carburant à partir du gaz naturel (méthane), procédé dit GTL (Gas to Liquid), suscite aujourd'hui l'intérêt des compagnies pétrolières en raison des débouchés qu'il offre au gaz naturel et pour des raisons d'indépendance énergétique. Il permet notamment de récupérer le gaz des torchères dans les champs pétroliers évitant aussi le largage de méthane dans l'atmosphère. De nombreux programmes de recherche sont lancés un peu partout dans le monde. Aux États-Unis, le Département de l'Energie (DOE) s'est engagé sur un projet de 8 ans d'un budget total de 84 M\$. Côté français, l'IFP, Total et Elf s'intéressent de très près à la conversion du gaz. La compagnie sud-africaine SASOL produit aujourd'hui 40.000 baril/jour de carburants GTL.

Tableau 17 : Émissions de CO₂ du puits à la roue pour des carburants synthétiques avec des véhicules de 2010



Source : « Well-to Wheels Report » de l'UE (janvier 2004) (Réf. 12)

Elle a déjà fait l'objet de nombreuses analyses par l'industrie automobile et l'industrie pétrolière (voir notamment « mobilité 2030 » Réf. 19)

La mise au point d'un processus de production industrielle de carburant de synthèse à partir de la biomasse reste encore à faire : les Etats-Unis et l'Allemagne disposent déjà d'installations pilotes. En France, le rapport Chambolle (« Nouvelles technologies de l'énergie » Réf. 20) avait identifié cette filière et un programme important vient d'être lancé par l'ADEME avec l'IFP, le CEA et de nombreux industriels. L'IFP estime que le surcoût de production du bio-kérosène est susceptible de disparaître dans l'hypothèse d'un prix élevé du pétrole.

Tableau 18 : Coûts de production des biocarburants

Coût de production \$ ou €/l HT) (yc prix du pétrole)	Prix du baril du brut (\$)		Biocarburants	
	25\$	50\$	2005	2020 1€=1\$
-Essence (ou Ethanol) en France	0,2	0,4	0,4 / 0,6	0.29 -> 0,19
Ethanol (Brésil/ USA)			0,23 / 0,30	
- Gazole ou EVMH (Europe)	0,2	0,4	0,35 / 0,65	
Carburacteur (fossile ou BtL)				0,8 -> 0,4

Source : Institut Français du Pétrole

L'utilisation de la biomasse présente en outre l'avantage de ne pas entrer en compétition avec les usages alimentaires. Elle peut rentrer aussi dans une politique de réorientation de l'activité agricole en Europe (réorientation de la PAC et utilisation des jachères).

Le lancement rapide de travaux au niveau européen et au niveau de l'OACI sur la réduction du taux de soufre et celle de composés aromatiques est nécessaire. Il ne semble pas qu'une réglementation sur ce plan qui ne s'appliquerait au départ que dans les pays de l'Union ait des effets pervers (type tankering). L'incertitude qui peut encore peser sur l'importance de l'effet indirect des émissions de SO₂ et de particules sur l'effet de serre ne saurait être un prétexte à l'inaction, ne serait-ce qu'en raison de leur impact qu'elles ont aussi sur la santé au voisinage des aéroports.

L'utilisation par les transporteurs aériens de kérosène issu du procédé BTL permettrait de réduire significativement les émissions nettes de CO₂ du transport aérien. Faute de pouvoir espérer aller beaucoup au delà des objectifs d'ACARE en ce qui concerne les moteurs et les cellules un effort

tout particulier de R&D dans ce domaine doit être entrepris en liaison étroite avec l'industrie pétrolière.

Recommandation n°2 - Réorienter les programmes de R et D sur des objectifs environnementaux et plus particulièrement sur la lutte contre le changement climatique :

- mieux connaître les aspects spécifiques de l'effet radiatif du transport aérien (CT/MT)
- améliorer la composition du kérosène (soufre et aromatiques) (CT)
- identifier les mesures prioritaires dans le programme ACARE en ce qui concerne notamment les moteurs, l'aérodynamisme, les matériaux composites (CT/MT)
- développer une filière industrielle de kérosène de synthèse à partir de la biomasse (MT/LT)
- conduire parallèlement un programme de recherches avancées faisant suite notamment au projet cryoplane (LT)

Recommandation n°3 - Financer ce programme au niveau national et européen :

- par redéploiement des moyens budgétaires et un accroissement éventuel à justifier dans le cadre du PCRD accompagnant l'effort propre des industries aéronautiques et pétrolières.
- par un abondement financé par le produit des outils économiques visés au point 5 via une « fondation européenne » pour la recherche aéronautique.

4. Les instruments de réduction des émissions : normes, engagements volontaires et mesures incitatives⁵⁶

Cette partie présente les trois types d'instrument sur lesquels peuvent s'appuyer les pouvoirs publics pour atteindre un objectif de réduction de la pollution : des normes, des engagements volontaires et des instruments économiques (taxes, redevances ou marchés de permis).

L'efficacité des instruments économiques peut varier selon le type de pollution (locale ou globale), le niveau d'information dont disposent les pouvoirs publics et les caractéristiques du secteur (émetteur ou concentré, coût de dépollution, élasticité de la demande...) ⁵⁷. Le cas des émissions de gaz à effet de serre du transport aérien est complexe car il combine différents types de polluants dont les caractéristiques diffèrent selon l'endroit où ils sont émis. Recourir au même instrument pour inciter les compagnies à agir sur les différents types de polluants qu'elles émettent peut être inefficace. C'est pourquoi, il sera peut être nécessaire de combiner l'utilisation des différents instruments pour inciter les compagnies aériennes à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre.

Les instruments économiques présentent plusieurs avantages :

- ils produisent des signaux-prix incitant les agents à privilégier les mesures de réduction des émissions les moins coûteuses ; le coût global de réduction des émissions est ainsi minimisé ;
- ils fournissent également une incitation permanente à la R&D et au progrès technique ;
- ils permettent éventuellement de générer des recettes additionnelles, qui peuvent être redistribuées aux agents afin de les aider à réduire leurs émissions ; cette redistribution réduit l'impact sur la demande, mais ne le supprime pas complètement.

Les actions de réduction des émissions ont un coût pour ceux qui les mettent en œuvre (par exemple, les compagnies qui achètent des avions moins polluants) et pour les agents économiques (l'augmentation des prix du transport aérien freinant les échanges). Pour autant, la réduction des émissions présente également un gain pour la collectivité liée à la diminution des effets dommageables du changement climatique. Ainsi, les dépenses engagées pour réduire les émissions se justifient par le gain que représente la réduction des émissions pour la collectivité.

Parmi les mesures disponibles pour réduire les émissions de CO₂, il convient de choisir les plus efficaces d'un point de vue économique, afin de minimiser le coût global de réduction, tout en atteignant l'objectif fixé. Or, les pouvoirs publics ne disposent pas d'information sur les coûts de réduction des compagnies et des constructeurs. En laissant les compagnies et les constructeurs choisir les mesures de réduction, les pouvoirs publics contournent cette absence d'information et permettent aux compagnies de faire les choix les plus efficaces. Cette décentralisation des choix repose sur l'établissement d'un signal-prix ⁵⁸ par l'intermédiaire d'une taxe ou d'un marché de permis.

Pour maîtriser les émissions de gaz à effet de serre du transport aérien, le recours aux instruments économiques semble nécessaire dans la mesure où le progrès technique tendanciel ne devrait permettre, selon les tendances observées par le passé, que de limiter la progression rapide des émissions.

⁵⁶ Cf Annexe 9 : Outils réglementaires et économiques.

⁵⁷ Cf. §4.5 : tableau récapitulatif de l'ensemble des critères d'analyse des instruments.

⁵⁸ Le signal-prix constitué par le prix du permis ou le montant unitaire de la taxe peut avoir deux effets : soit une compagnie a à sa disposition des mesures permettant de réduire les émissions à un coût marginal inférieur au taux de la taxe ou au prix des permis, et la compagnie aura intérêt à mobiliser ces marges de manœuvre ; soit les mesures existantes ont un coût marginal supérieur, et la compagnie a intérêt à payer la taxe ou acheter un permis.

4.1 Les normes

D'un point de vue économique, les normes ne sont pas *a priori* l'outil le plus efficace pour réduire les dommages environnementaux causés par une activité car elles ne permettent pas d'égaliser les coûts marginaux de réduction des émissions. Pour autant, elles sont de nature à accélérer la mise sur le marché des technologies les plus efficaces disponibles et leur mise en œuvre peut être simple et peu coûteuse. Elles peuvent être bien adaptées à certaines situations, comme l'a montré leur application au secteur automobile (normes EURO) et aux nuisances des avions.

A) Les normes sur les émissions d'oxydes d'azote (NOx)

L'existence de normes sur les émissions d'oxydes d'azote (NOx) renvoie d'abord à un objectif de maîtrise de la pollution locale, et donc à un objectif de santé publique. Toutefois, une évolution de ces normes permettrait également de réduire l'impact de l'aviation sur le changement climatique. La norme aujourd'hui agréée au niveau de l'OACI n'inclut, pour le moment, que les émissions du cycle atterrissage/ décollage (Landing and Take-Off). Un durcissement pourrait passer par l'inclusion des émissions de NOx en altitude de croisière. Les perspectives technologiques soulignent la faisabilité de ce durcissement puisque le programme ACARE envisage de réduire de 80% les émissions de NOx d'ici à 2020.

Cette marge d'amélioration paraît crédible : en effet, en 20 ans, les normes OACI imposées aux avions n'ont été diminuées que de 33%⁵⁹.

Une action sur les normes d'émissions de NOx semble adaptée dans la mesure où les solutions techniques de réduction des émissions de CO₂, notamment au niveau de la consommation des moteurs, pourraient se traduire, si aucune mesure spécifique n'était prise, par une hausse des émissions de NOx. Il convient donc de mettre en place les outils nécessaires pour éviter que les incitations à la réduction des émissions de CO₂ ne se traduisent par un surcroît d'émissions de NOx. Le recours à la norme pour réduire les émissions de NOx est justifié par la dualité des nuisances (globales et locales) des NOx émis par le transport aérien et par les difficultés de calcul des émissions réelles de NOx en haute altitude.

Des normes sur la performance énergétique (et donc sur les émissions de CO₂) de chaque type d'appareil n'apparaissent pas en première analyse comme un instrument efficace de réduction de CO₂. A défaut d'une norme sur la consommation de carburant, la définition d'un objectif de performance énergétique par siège-kilomètre pourrait être étudiée (cf. infra).

Un durcissement des normes sur les émissions de NOx devrait résulter d'une concertation sur les possibilités technologiques avec les constructeurs et les motoristes. Il devrait également faire l'objet de discussions approfondies avec nos partenaires à l'OACI surtout si elles devaient conduire comme cela a été le cas dans le domaine du bruit à interdire certains aéroports à des avions ne respectant pas tel niveau d'exigence.

B) Les normes relatives à la composition des carburants

Comme on l'a vu ci dessus (§ 3.3 B), les normes concernant le soufre, les composés aromatiques et les additifs pourraient être rapidement durcies en s'inspirant de ce qui a été fait pour les carburant automobiles.

Des actions sur les normes de composition chimique du kérosène jet A1 pourraient permettre de diminuer la taille et les effets des traînées de condensation. La norme en matière de teneur en soufre du

⁵⁹ Pendant la même période, les émissions de NOx des véhicules automobiles ont été, dans le même temps, divisées par 40 pour les moteurs à essence et par 16 pour les moteurs diesels. Il est vrai que les véhicules automobiles ont pu bénéficier de pots catalytiques qui ne sont pas envisageables pour les avions.

kérosène est de 0,3 % (norme ASTM D 1655) soit 3 000 ppm⁶⁰, alors que la valeur médiane constatée en Europe est d'environ 500 ppm⁶¹.

Les actions de réglementation environnementale qui ont fait leur preuve dans d'autres domaines et qui passent par l'établissement de normes devraient être relancées. Elles sont complémentaires à l'utilisation d'instruments économiques pour d'autres polluants. Sur l'ensemble de cette démarche de normalisation, il est très important d'établir un calendrier à long terme, pour que chaque acteur puisse avoir une visibilité convenable et définir des stratégies adaptées qu'il s'agisse de l'industrie manufacturière ou des transporteurs.

4.2 Les accords volontaires

La notion d'accord volontaire recouvre différents types d'instruments qui peuvent être catégorisés en quatre groupes⁶² :

- les engagements unilatéraux : une entreprise met en place un programme interne d'amélioration de ses performances environnementales et en communique les résultats à l'extérieur ;
- les accords privés : ce sont des accords entre une entreprise et des agents qui souffrent de la pollution engendrée par les activités de l'entreprise ; ces accords aboutissent à la mise en place de programmes d'amélioration des performances environnementales de l'entreprise ;
- les accords négociés : ce sont des contrats négociés par les autorités publiques et des entreprises ou groupements d'entreprises, précisant des objectifs environnementaux à atteindre dans un délai fixé ; les autorités publiques surveillent l'effectivité des efforts réalisés ; si l'objectif fixé n'est pas atteint, l'accord peut prévoir un mécanisme de sanction permettant d'inciter les opérateurs à respecter leur engagement ;
- les programmes publics volontaires : il s'agit de programmes développés par l'autorité publique, précisant des standards environnementaux, auxquels des entreprises peuvent choisir de participer.

Un accord volontaire sur des objectifs de performance énergétique par type d'appareil pourrait être négocié entre les compagnies aériennes, les constructeurs et les pouvoirs publics sur la base de ce qui existe pour le secteur automobile⁶³. La performance énergétique serait calculée comme la consommation de carburant par siège-kilomètre. La possibilité de négocier un tel engagement pourrait être envisagée et mériterait une étude sérieuse. Les compagnies aériennes auraient un intérêt à ce que la maîtrise des émissions du transport aérien passe par ce type d'instrument négocié pour éviter la mise en place d'une taxe ou l'inclusion du transport aérien dans le marché européen de permis.

Toutefois, les accords volontaires ne constituent pas un outil très efficace lorsqu'il s'agit d'atteindre un objectif donné de dépollution ou de performance :

- peu d'accords volontaires prévoient une sanction en cas de dépassement de l'objectif ;
- l'objectif fixé par un accord volontaire représente rarement un effort supplémentaire par rapport au scénario de référence, c'est à dire ce que les compagnies auraient fait en l'absence d'accord.

⁶⁰ Parties par million

⁶¹ Le niveau de ces normes contraste avec celui en vigueur pour les carburants routiers ; les limites fixées par la directive 2003/17/CE du 3 mars 2003 concernant la qualité de l'essence et des carburants diesel sont en effet beaucoup plus strictes. Pour l'essence, la norme passera de 150 ppm actuellement à 50 ppm à partir du 1^{er} janvier 2005 et 10 ppm au 1^{er} janvier 2009. Pour le diesel, la norme passera de 350 ppm à 50 ppm puis 10 ppm selon le même échéancier.

⁶² Réf. 21. : Voluntary approaches for environmental policy (OCDE).

⁶³ Un accord entre les associations de constructeurs automobiles européens, japonais et coréens et la Commission fixe un objectif d'émission de 140 gCO₂/Km exprimé comme la moyenne des émissions de CO₂ au km de l'ensemble des véhicules vendus en 2008.

En pratique, les accords volontaires ne valent que par la menace de mesures plus restrictives, qui pourraient être mises en place si l'objectif n'est pas atteint. Dans ces conditions, les pouvoirs publics sont en position de négocier de réelles avancées, mais encore faut-il qu'ils aient les moyens de contrôler l'application effective des accords.

Le Japon a ainsi négocié un accord volontaire avec l'association des compagnies aériennes japonaises, qui se sont engagées à réduire de 1% par an la consommation par PKT. Cet engagement correspond à la fourchette basse des scénarios de référence de l'amélioration de l'efficacité énergétique ; autrement dit, cet engagement volontaire ne permet pas d'aller au-delà de ce que les compagnies auraient fait en l'absence d'accord.

Des accords volontaires peuvent également être négociés entre les compagnies aériennes et les aéroports. C'est notamment le cas pour l'aéroport de Schiphol, à Amsterdam (Pays-Bas). L'aéroport doit payer des taxes environnementales pour les émissions de polluants locaux. Plutôt que de répercuter ces taxes sur les taxes d'atterrissage, les gestionnaires de l'aéroport ont choisi de passer des « accords d'environnement » avec les compagnies. Ce type d'accord volontaire ne semble pas adapté à la réduction des émissions de GES, mais pourrait favoriser la diffusion des « bonnes pratiques » et des innovations technologiques permettant de réduire les autres émissions (par exemple les NOx). **Des accords volontaires englobant les gestionnaires d'aéroport et le contrôle aérien pourraient constituer un instrument d'accompagnement d'un système de régulation des émissions de CO₂** (voir §3.2 et Recommandation n°1). Ils permettraient en effet de faire participer les gestionnaires d'aéroport et le contrôle aérien à un objectif global qui ne les concerneraient pas si l'instrument choisi se limitait à un marché de permis.

Recommandation n°4 : Améliorer ou définir au niveau mondial avec les constructeurs, les motoristes et l'industrie pétrolière des normes ou objectifs de performance :

- renforcer celles relatives aux oxydes d'azote en prenant en compte la phase de croisière
- accélérer les travaux relatifs aux émissions de particules
- établir des objectifs de performance des avions pour les émissions de dioxyde de carbone
- améliorer très rapidement la composition du kérosène.

Préciser les étapes et le calendrier, les modalités d'application (application à l'industrie ou –et– aux compagnies, normes contraignantes ou engagement volontaire, dispositif de sanctions).

Prendre en compte les « trade off » (notamment entre NOx, CO₂, bruit) dans la mise en œuvre.

Envisager à l'horizon 2015-2020 la mise en application d'une recommandation de l'OACI et d'une directive européenne portant sur l'incorporation de bio-kérosène dans le carburant avion.

4.3 Les taxe et redevances

A) La taxation du kérosène

La taxation mondiale du kérosène et le marché de permis constituent, en théorie, les instruments les plus efficaces, d'un point de vue économique, pour réduire les émissions de CO₂. Ils permettent en effet de minimiser le coût global de réduction des émissions en assurant l'égalité des coûts marginaux de réduction des émissions entre toutes les compagnies.

Pour un secteur donné comme celui du transport aérien, l'efficacité de la taxation des consommations de carburant est équivalente à celle d'un marché de permis, restreint au secteur aérien, si les quotas sont mis aux enchères et si le taux de la taxe est égal au prix de vente des quotas. En revanche, si un marché de permis existe déjà pour d'autres secteurs d'activité, **la taxation du kérosène devrait, pour**

arriver au même niveau de réduction que celui obtenu par l'inclusion du transport aérien dans le marché de permis, être fixée à un niveau beaucoup plus élevé que le prix du permis⁶⁴.

Une taxe sur le carburant est un instrument efficace, d'un point de vue économique, pour inciter les agents à réduire leurs émissions de CO₂ car celles-ci sont proportionnelles à la consommation de carburant. Elle incite à la réduction des émissions dès la consommation de la première tonne de carburant.

La hausse des prix du pétrole observée en 2003-2004 montre bien la sensibilité des compagnies aériennes au prix du carburant. Elles ont en effet mis en œuvre un grand nombre de mesures d'économies de carburant⁶⁵ mais n'ont pas toujours pu répercuter sur les usagers la quasi-totalité de la hausse des coûts d'exploitation qui en a découlé⁶⁶.

Si le taux de la taxe sur le kérosène était fixé au niveau des valeurs de référence recommandées pour la tonne de CO₂, l'impact de cette taxe sur la demande, et donc sur les émissions de CO₂ serait relativement modéré, et changerait relativement peu en fonction des prix du pétrole. La valeur de référence suggérée par le rapport « Transport : choix des investissements et coût des nuisances » M. Boiteux (Réf. 22), 27 €/tCO₂⁶⁷, correspond à un taux de 0,068 €/l de kérosène⁶⁸. Pour un vol long courrier de 6 500 km, la taxe serait de 18€ et entraînerait une baisse de la demande d'environ 2%⁶⁹. Ces calculs doivent être pris avec précaution, ils présentent des ordres de grandeur plus qu'une simulation réaliste de l'impact d'une taxe. L'impact d'une telle taxe sur la demande peut sembler important, mais en pratique cette baisse représente la moitié de la croissance annuelle moyenne de la demande sur les dix dernières années. De plus, il s'agirait d'un impact de long terme, qui ne tient pas compte des actions de réduction des consommations que pourraient mettre en œuvre les compagnies pour réduire le surcoût de la taxe.

Il convient également de mettre en perspective l'impact de la taxe sur le carburant avec celui de la hausse récente des prix du pétrole (autour de 45\$/baril Brent actuellement, contre 30\$ il y a deux ans, et 25\$ il y a trois ans). A court terme, celle-ci a été amortie en partie par les systèmes de couverture sur les coûts du carburant mis en place par les compagnies, mais, à long terme, si les prix se maintenaient au niveau actuel, l'impact sur la demande serait de l'ordre de 4 % en long courrier

⁶⁴ Toutefois, il faut noter que dans un cas, la taxe est appliquée à un seul secteur, celui de l'aviation, et que, dans l'autre, le marché englobe l'ensemble des secteurs intenses en énergie. Il est donc normal que le marché de permis, dans ce cas de figure, permette d'arriver au même résultat pour un niveau de prix nettement plus faible puisque les autres secteurs ont à leur disposition des mesures de réduction nettement moins coûteuses que celles dont dispose le secteur du transport aérien.

⁶⁵ L'IATA a notamment transmis des recommandations en ce sens.

⁶⁶ En particulier, aux Etats-Unis où la concurrence qui existe sur le marché intérieur a conduit à une forte dégradation de la situation financière des entreprises (Voir Le Monde du 2 février 2005 : « Les compagnies US victimes du pétrole et de dollar »).

⁶⁷ Fixer un taux marginal de taxation plus élevé que celui résultant de la valorisation des externalités, afin de rendre la taxation des carburants plus incitative sur le plan environnemental, n'est pas économiquement efficace dans la mesure où des réductions d'émissions seraient alors atteignables à des coûts marginaux bien inférieurs dans d'autres secteurs.

⁶⁸ Il est supposé que la combustion d'un kilogramme de kérosène provoque des émissions de 3,15 kg de CO₂. La masse volumique du kérosène étant variable (de 0,755kg/l à 0,840kg/l), la valeur moyenne de la taxe optimale en fonction de la valeur retenue dans le rapport « Transport : choix des investissements et coût des nuisances » (M. Boiteux) s'établit à 0,068€.

⁶⁹ Le calcul a été effectué avec les hypothèses suivantes : la consommation spécifique est de 4l de kérosène pour 100 PKT ; le carburant représente 17% des coûts d'exploitation ; le prix du pétrole définissant le prix du carburant de référence (janvier 2003) est de 31\$ le baril ; le taux de marge de référence est de 4% ; le prix du billet TTC intègre 160€ de taxes (exemple d'un Paris-New York en janvier 2005) ; l'élasticité de la demande au prix est de -0,7 (cf. modèle AERO).

Tableau 19 : Impact d'une taxation du kérosène sur la demande, en fonction du prix du pétrole

	Référence janv-03	Scénarios				
Prix du pétrole (baril de Brent, en \$)	31	45	50	60	80	100
Coût total carburant long courrier (€)	71	107	122	149	203	256
Part du carburant dans les coûts	17%	18%	20%	23%	29%	34%
Prix du billet TTC (€)	597	634	650	678	734	789
Impact de la hausse des prix du pétrole						
Hausse du prix du billet (€)		37	53	81	137	192
Baisse de la demande		-4%	-6%	-9%	-16%	-23%
Impact de la hausse des prix du pétrole et de la taxe						
Hausse du prix du billet (€)	18	56	71	99	155	211
Baisse de la demande	-2%	-7%	-8%	-12%	-18%	-25%
Impact de la hausse des prix du pétrole et de la taxe, avec réduction de 50% des marges						
Hausse du prix du billet (€)		48	65	93	149	206
Baisse de la demande		-6%	-8%	-11%	-17%	-24%
Impact de la hausse des prix du pétrole et de la taxe, avec réduction de 75% des marges						
Hausse du prix du billet (€)		44	60	88	143	200
Baisse de la demande		-5%	-7%	-10%	-17%	-23%

Source : Direction Générale du Trésor et de la politique Economique MINEFI

Ainsi, dans le contexte actuel, le prix du kérosène constitue une incitation à réduire les émissions de CO₂ plus forte qu'une taxe sur le carburant (à un niveau justifié par son intérêt pour la collectivité). Les compagnies sont incitées à réduire leur consommation, pour éviter que la hausse des prix du pétrole ne se répercute directement sur les prix en entraînant une réduction de leur chiffre d'affaires. Elles sont donc incitées à réduire leurs émissions de CO₂, même en l'absence de taxe spécifique. Cela ne signifie pas pour autant, que le prix du pétrole constitue une incitation suffisante.

Une taxation du kérosène serait simple et peu coûteuse à mettre en œuvre, mais se heurterait néanmoins à de nombreux obstacles. A l'échelle mondiale, le problème ne viendrait pas tant de la convention de Chicago que des accords bilatéraux autorisant le trafic aérien commercial entre deux pays⁷⁰. En effet, la quasi-totalité des 4 000 accords aériens bilatéraux en vigueur exonèrent, sur la base de la réciprocité, le kérosène embarqué chez un État contractant. Par ailleurs, un grand nombre d'États membres de l'OACI estime que la pression économique liée au prix des carburants constitue une incitation suffisante, et s'opposent à tout projet de taxation mondiale.

A l'échelle européenne, la taxation du kérosène embarqué pour les vols intra-européens serait juridiquement possible⁷¹, mais elle risquerait d'engendrer une forte distorsion de concurrence entre

⁷⁰ La Convention de Chicago ne devrait pas nécessairement être modifiée dans la mesure où elle n'interdit pas explicitement la taxation. Les stipulations de l'article 24 de la Convention de Chicago sont généralement invoquées : « Les carburants (...) se trouvant à bord d'un aéronef d'un État contractant, à son arrivée sur le territoire d'un autre État contractant et se trouvant encore à bord dudit aéronef lors de son départ de ce territoire, sont exonérés des droits de douane, frais de visite ou autres droits et taxes similaires imposés par l'État ou les autorités locales. ». Les États contractants ont jusqu'ici interprété et appliqué cet article comme exonérant de toute taxation le kérosène utilisé par le transport aérien international. Toutefois, l'article n'est pas explicitement applicable au kérosène embarqué chez un État contractant.

⁷¹ La directive 2003/96/CE du Conseil du 27 octobre 2003 restructurant le cadre communautaire de taxation des produits énergétiques et de l'électricité pose comme principe (article 14 al.1.b.) que les produits énergétiques fournis en vue d'une utilisation comme carburant ou combustible pour la navigation aérienne sont exonérés par les États membres (les EM peuvent limiter la portée de cette exonération aux fournitures de carburateur). La

transporteurs communautaires et compagnies extra-européennes (minoritaires aujourd'hui sur le marché européen, mais qui pourraient se développer rapidement en cas de différentiel de compétitivité marqué). L'application de la taxation à ces compagnies nécessiterait là encore de renégocier les accords aériens bilatéraux qui lient l'Union européenne aux États dont dépendent ces compagnies. Les modifications nécessaires de ces accords ne devraient être obtenues qu'au prix de concessions élevées dans d'autres domaines. Les potentialités d'évasion fiscale semblent relativement limitées, les phénomènes de *tankering* étant nécessairement contraints par le coût élevé du transport du carburant dans les réservoirs des avions.

B) La taxation des billets

La taxation des billets d'avion ne constitue pas, d'un point de vue économique, un outil efficace de réduction des émissions de CO₂ du transport aérien. Plusieurs modalités de taxation du billet peuvent être envisagées : *ad valorem*, forfaitaire, proportionnelle au nombre de kilomètres parcourus ou à la durée du vol. Cette dernière solution est la plus proche des émissions réelles, mais en demeure néanmoins très éloignée. En raison de l'absence de lien direct entre la taxation du billet et la consommation de carburant, une taxation des billets n'inciterait pas les compagnies à réduire leur consommation et donc leurs émissions. Une taxe sur les billets, même si elle était assise sur la distance parcourue, n'avantagerait pas les compagnies dont les avions sont plus efficaces sur le plan énergétique.

Le seul effet d'une taxe sur les billets serait de réduire la demande. Les études existantes suggèrent que les effets de la taxation du kérosène seraient répartis à égalité entre leur impact sur la demande (la réduction des émissions liée à la baisse du nombre de voyageurs induite par la hausse des prix) et leur impact sur l'offre (la réduction des émissions liée aux efforts des compagnies pour réduire leur consommation). Ainsi, une taxe sur les billets de 2,5 € en court courrier, et de 20 € en long courrier (cf. exemple de la taxe sur le kérosène) aurait un coût pour la collectivité (en termes de réduction de la demande, et donc de perte de surplus des usagers) équivalent à celui d'une taxation du kérosène de même niveau, mais ne produirait qu'une partie des gains (en termes de réduction des émissions) de la taxe sur le carburant.

La mise en oeuvre d'une taxation des billets n'apparaît pas adaptée à un objectif de réduction des émissions de CO₂. Elle ne devrait être envisagée que si les autres instruments (marché de permis, redevances, taxation du kérosène) ne peuvent pas être utilisés.

C) Les redevances d'atterrissage : support à l'internalisation des nuisances locales

Les redevances d'atterrissage servent à couvrir, au moins en partie, les coûts de l'atterrissage des avions (entretien de la piste, sécurité, etc.). Ces redevances sont en général modulées en fonction de la taille de l'avion. Dans certains pays (Suède et Suisse), une partie de la redevance d'atterrissage est fonction des émissions de polluants locaux (notamment les NOx). La prise en compte des polluants locaux dans les systèmes suisse et suédois est restée neutre en terme de revenus car elle a été accompagnée d'une baisse concomitante des autres parties des redevances d'atterrissage (cf. Annexe 10).

Par ailleurs, **les redevances d'atterrissage sont des instruments adaptées à l'internalisation des dommages locaux mais inadaptés à l'internalisation de dommages globaux** comme le changement climatique. Elles sont efficaces pour tenir compte des circonstances locales. La solution consistant à créer une part forfaitaire au sein des redevances d'atterrissage reviendrait à mettre en place une taxe mondiale sur le billet. Destinées à internaliser des pollutions locales, les modalités de mise en œuvre

directive autorise (article 14 al.2) les États membres à limiter le champ d'application de cette exonération aux transports internationaux et intracommunautaires. Cet alinéa autorise également les États membres à exclure de l'exonération le kérosène utilisé pour le transport aérien vers un autre État membre avec lequel ils ont conclu un accord bilatéral. Ainsi, la mise en place d'une taxation du kérosène par un État membre est possible si elle ne concerne que le kérosène embarqué pour les vols intérieurs ou pour les vols à destination d'un autre État membre ayant conclu un accord bilatéral en ce sens.

de ces taxes doivent a priori être du seul ressort des autorités locales. Il paraît donc peu opportun de les utiliser dans le cadre de la lutte contre le changement climatique.

D) *Les redevances de route*

Une taxation de l'utilisation des couloirs aériens, comme celle du kérosène, n'est pas envisageable car elle se heurte à la doctrine de l'OACI selon laquelle l'usage des couloirs aériens, garanti par la Convention de Chicago, doit être libre et ne peut donner droit à un « péage » qu'en échange d'un service rendu⁷². C'est l'objet des « redevances de route » qui couvrent les services de navigation aérienne rendus en vol, tant pour le guidage des avions que pour leur séparation et le bon écoulement des flux de trafic.

En revanche, l'OACI⁷³ admet que les redevances puissent couvrir des coûts indirects liés aux services rendus, même si la couverture des coûts externes sous ce vocable est controversée par certains États (dont les États-Unis). La philosophie n'en demeure pas moins qu'une redevance doit être dévolue à couvrir les coûts externes et que le produit d'une redevance « environnementale » doit être consacré à couvrir ou combattre les dommages créés⁷⁴. Ainsi, dans le cas d'une redevance sur les émissions (CO₂ ou NOx), le produit de la redevance devrait être utilisé à réduire le niveau des émissions.

Sur cette base la Commission avait confié une étude à un consultant néerlandais spécialisé CE Delft sur l'instauration de redevances de route environnementales en Europe. Le rapport⁷⁵ de cette société, communiqué mais non publié officiellement⁷⁶, conclut qu'une redevance fondée sur la distance et la performance en termes d'émissions des aéronefs est envisageable, tant du point de vue de l'efficacité environnementale que de sa faisabilité au niveau européen (mise en œuvre technique dans le cadre de la perception des redevances par Eurocontrol).

Deux scénarios ont été étudiés (avec des tests de sensibilité) :

- une redevance liée au CO₂ de 30 €/par tCO₂ émise et de 3,6 €/par kg de NOx émises entraînerait une réduction de 9% des émissions dans l'espace européen, résultant pour moitié d'une baisse de la demande et pour l'autre des mesures prises par les compagnies aériennes ;
- une modulation des redevances de route actuelles en fonction d'un indice de performance environnemental de l'avion, le tout à revenu constant (*revenue neutral charge*) entraînerait une réduction de 5% des émissions.

Le rapport développe peu l'utilisation de la redevance. Il évoque soit l'affectation de la redevance au budget des États (auquel cas il s'agit d'une taxe) soit l'affectation à un fonds supranational chargé de financer des mesures contre l'effet de serre, en principe dans l'aviation.

La modulation des redevances de route (en fonction des émissions de CO₂) apparaît comme une piste intéressante. Elle est assez simple à mettre en œuvre ; elle peut être conçue à revenu constant ce qui évite toute charge supplémentaire sur le secteur du transport aérien. Elle a une forte efficacité sur le progrès technologique. Celle-ci pourrait être encore accrue si l'on acceptait qu'elle produise un revenu permettant d'abonder le financement d'un programme ambitieux de R et D (cf. 3.4) dans des proportions qui devraient rester très supportables pour l'industrie du transport aérien.

⁷² A ce titre, les États européens et les compagnies aériennes dénoncent la perception de « droits de survol » de la Sibérie exorbitants par l'État russe.

⁷³ Résolution du Conseil de 1996.

⁷⁴ C'est sur cette base que certains aéroports peuvent créer ou moduler les redevances d'atterrissage selon le niveau polluant (bruit ou émissions) des avions.

⁷⁵ Economic incentives to mitigate greenhouse gas emissions from air transport in Europe, CE Delft, juillet 2002

⁷⁶ La raison invoquée par la Commission est la primauté donnée à l'époque (2002) à la taxation du kérosène.

4.4 Les marchés de permis d'émission

A) Le marché de permis est un instrument économique efficace déjà utilisé par l'Union européenne

En théorie, le marché de permis et la taxe sur le carburant ont, dans certaines conditions, une efficacité équivalente pour réduire à moindre coût les émissions de CO₂. Dans deux situations importantes, ces deux instruments n'ont pas la même efficacité. Si l'allocation initiale de quotas, pour un marché de permis restreint au secteur aérien, est réalisée à titre gratuit, la fiscalité sur le carburant sera plus efficace (mais elle se traduira par un transfert au profit de la puissance publique, alors que le marché de permis avec allocation initiale gratuite, n'entraînera que des échanges à la marge entre les compagnies). En revanche, si des secteurs intenses en énergie, dans lesquels des économies existent à bon marché, sont déjà couverts par un mécanisme de marché, le marché de permis permettra, pour un niveau de taxe égal au prix des permis, de réaliser davantage de réduction que la taxe (cf. Annexe 14).

En pratique, le marché de permis et la fiscalité n'ont pas les mêmes conséquences pour les entreprises qui y sont soumises. Les entreprises raisonnent sur le plan comptable et financier plutôt qu'économique. De leur point de vue, un système de permis négociables avec allocation gratuite est moins coûteux et moins contraignant qu'une taxe car il permet de ne payer que pour la différence entre les émissions réelles et l'allocation initiale de quotas. La question de l'allocation initiale de permis est donc essentielle, car seule la rareté des permis pourra inciter les entreprises à faire les efforts nécessaires.

Le marché de permis est **l'instrument économique qui a été choisi par l'Union européenne pour inciter les installations industrielles** fortement émettrices de CO₂ à réduire leurs émissions. Compte tenu de ce choix initial, l'inclusion du transport aérien intracommunautaire dans le marché européen serait, pour un niveau de prix des quotas égal au taux de la taxe, plus efficace qu'une taxe sur le kérosène. Elle permettrait de réaliser des réductions d'émissions plus importantes. La création, pour le transport aérien, d'un marché de permis non relié au marché européen ne permettrait pas au secteur aérien de profiter des efforts de réduction qui pourraient être réalisés à moindre coût dans les autres secteurs.

Le Royaume-Uni a récemment plaidé en faveur de l'inclusion des émissions du transport aérien dans le marché européen⁷⁷. Il a d'ailleurs fait de cette question une des priorités de sa présidence du Conseil de l'Union européenne, au deuxième semestre 2005. Dans ce contexte, la Commission européenne a confié, à la fin de l'année 2004, au cabinet CE Delft la réalisation d'une analyse des différentes questions posées par cette proposition. L'étude devrait être rendue à la fin du premier semestre 2005 et serait suivie par une communication de la Commission sur le sujet.

B) Le cadre international en vigueur autorise l'Union européenne à recourir à un marché de permis partiellement intégré

A court terme, l'absence de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre du transport aérien international n'interdit pas à l'Union européenne d'inclure les émissions du transport aérien dans le marché européen de permis d'émissions. Toutefois, elle contraint l'Union européenne dans la mise en œuvre de cette possibilité. En effet, dans le marché de permis européen, « *les transferts de quotas européens à un autre État membre entraînent des ajustements correspondants d'unités de quantités attribuées*⁷⁸ (UQA) au titre du protocole de Kyoto »⁷⁹. Comme les émissions des sources internationales ne sont pas comptabilisées dans le protocole de Kyoto, donner la possibilité aux compagnies aériennes de céder des quotas aux installations des secteurs couverts par le marché

⁷⁷ Cf. Livre blanc « *The Future of Air Transport* », publié en décembre 2003, qui recommande d'utiliser le marché de permis pour maîtriser les émissions du transport aérien à compter de 2008.

⁷⁸ L'unité de quantité attribuée est le montant unitaire donnant lieu à échange sur le marché international de permis

⁷⁹ Considérant 10 de la directive 2003/97/CE établissant un système d'échange de gaz à effet de serre dans la communauté

européen aurait comme conséquence de faire rentrer sur le marché européen des quotas d'émissions auxquels aucune UQA ne correspond.

Par conséquent, tant que les émissions du transport aérien international ne seront pas incluses dans le protocole de Kyoto, l'inclusion du transport aérien dans le marché européen ne pourra se faire que dans le cadre d'un **marché semi-ouvert**, c'est-à-dire que les compagnies aériennes ne pourraient pas vendre de quotas d'émissions aux installations des autres secteurs concernés par le marché (Annexe 13). Cela ne paraît pas constituer un véritable inconvénient ce secteur n'étant pas a priori vendeur. Elles pourraient, en revanche, acheter des quotas à ces installations. Par ailleurs, les transactions entre compagnies aériennes seraient possibles. La proposition du Royaume-Uni en faveur de l'inclusion du transport aérien dans le marché de permis tient compte de cette difficulté.

Les discussions internationales en cours donnent des indications intéressantes dans le cadre de la réflexion sur l'inclusion des émissions du transport aérien dans le marché européen. **Au niveau international, deux voies sont envisagées pour inclure les émissions** du transport aérien dans le cadre du protocole de Kyoto révisé (à partir de 2012) :

- **Attribuer les émissions des vols internationaux aux pays signataires du protocole de Kyoto** et laisser ensuite toute liberté à chaque pays sur la façon de répartir la contrainte de réduction pesant sur ses émissions tous secteurs confondus. L'organe subsidiaire pour le conseil scientifique et technique (SBSTA) de la CNUCC a indiqué différentes pistes pour allouer les émissions entre les États sans parvenir à une conclusion ferme (cf. Annexe 11). Une fois les émissions du transport aérien attribuées aux différents États, chacun resterait libre des mesures qu'il prend pour maîtriser les émissions du transport aérien⁸⁰.
- **Traiter le secteur aérien comme un n^{ième} Etat au protocole** (ou à la convention) et lui fixer un objectif de réduction propre (sans attribuer les émissions aux différents pays). Ce marché mondial, avec allocation directe de quotas aux compagnies, aurait l'avantage de limiter les marges de manœuvre des pays sur les allocations à leurs compagnies nationales et donc de réduire les distorsions de concurrence potentielles. Il pourrait être lié au marché international de Kyoto.

C) Recommandations pour l'inclusion du transport aérien dans le marché européen dès 2008

Plusieurs questions (gaz concernés, étendue des vols inclus, méthode d'allocation...) doivent être résolues pour inclure le transport aérien dans le marché européen de permis. Les réponses doivent s'efforcer de trouver un équilibre entre efficacité environnementale, faisabilité politique et contrainte économique.

Les incertitudes scientifiques relatives à l'évaluation de l'impact radiatif global des émissions du transport aérien, le cadre actuel fixé par le protocole de Kyoto (les émissions non CO₂ du transport aérien ne sont pas comptabilisés dans le protocole de Kyoto, elles ne sont donc ni inventoriées par les États parties, ni comptabilisées dans le cadre des objectifs de réduction des émissions) et la comptabilisation des seules émissions de CO₂ sur le marché européen de permis plaident en faveur de la prise en compte des **seules émissions de CO₂** pour l'inclusion du transport aérien dans le marché de permis.

La question du champ d'application est déterminante pour la faisabilité de l'inclusion du transport aérien. L'inclusion de l'ensemble des vols au départ et à l'arrivée de l'Union européenne accroîtrait le volume d'émissions couvert par le mécanisme et donc son efficacité environnementale mais elle

⁸⁰ Le protocole de Kyoto laisse aux États le libre arbitre sur la façon d'atteindre leurs objectifs de réduction. Un État peut mettre en place une politique domestique ambitieuse et faire peser une contrainte de réduction forte sur ses industriels. Mais il a aussi le droit de ne faire porter aucune contrainte sur ses industriels et de répercuter l'effort sur les autres secteurs économiques, voire d'acheter tous les crédits sur le marché international. Cette liberté des États concernant la mise en œuvre du protocole, liberté qui a été voulue et acceptée à Kyoto, peut créer des distorsions de concurrence.

pourrait rencontrer l'opposition des États tiers concernés. Toutefois, exclure du mécanisme l'ensemble des vols des compagnies non-européennes ne semble pas envisageable en raison des distorsions de concurrence qui en résulteraient sur une même route aérienne entre compagnies communautaires et compagnies extra-communautaires. L'efficacité du mécanisme en pâtirait également.

Par conséquent, **à court terme**, la solution optimale serait d'inclure l'ensemble des vols intra-européens (vols intérieurs des États membres et vols entre deux États membres), qu'ils soient réalisés par des compagnies européennes ou non. Une telle solution permettrait d'éviter les distorsions de concurrence nuisibles à l'efficacité du marché. **L'inclusion de l'ensemble des vols intracommunautaires, quel que soit l'État dont ressortit la compagnie**, pourrait nécessiter de négocier une révision des accords aériens bilatéraux avec les États tiers qui bénéficient de la cinquième liberté⁸¹.

A moyen terme, les vols à destination ou en provenance des pays tiers qui ont ratifié le protocole de Kyoto et qui souhaitent créer un lien entre leur marché national et le marché européen de permis pourraient être inclus⁸²... L'efficacité environnementale du mécanisme serait ainsi accrue. Une telle possibilité de lier le marché européen à d'autres marchés de permis est déjà prévue par la directive établissant le système communautaire de marché de permis.

Avant d'allouer des quotas négociables aux opérateurs, il faut, dans le cas du transport aérien, décider s'il est nécessaire d'attribuer à des États en particulier la responsabilité des émissions du transport aérien (selon les différentes possibilités énumérées dans l'Annexe 11). En attribuant aux États la responsabilité des émissions du transport aérien, la voie qui est empruntée est celle qui a été suivie pour l'établissement du marché européen. Les États demanderont à allouer eux-mêmes les quotas aux compagnies ressortissantes de leur État selon des principes généraux fixés par la Commission. Cette procédure est celle qui a prévalu pour les plans nationaux d'allocation des quotas des 25 États membres, dont les taux d'effort réel sont très variables. L'expérience de cette allocation initiale a montré les difficultés à assurer l'homogénéité des règles d'attribution entre États. Une telle procédure ne permettrait donc pas d'éviter les distorsions de concurrence. Par conséquent, pour éviter tout risque de distorsion entre les compagnies européennes elles-mêmes, **il est recommandé de procéder à une allocation directe des quotas aux compagnies aériennes sans passer par une attribution aux États**.

La question suivante est celle de la méthode de calcul de l'allocation initiale de quotas. Cette question est sensible pour les compagnies aériennes dans la mesure où cette allocation initiale de quotas aux compagnies correspond à une allocation de richesse. Une question préalable consiste à déterminer si les émissions des compagnies doivent être plafonnées en volume, quelle que soit la croissance réelle (marché dit absolu), ou bien, au contraire, indexées sur la croissance réelle du secteur (marché dit relatif). Le secteur du transport aérien se distingue des autres secteurs déjà inclus dans le marché européen par de forts différentiels de croissance entre les opérateurs et par une forte sensibilité à des facteurs conjoncturels. La croissance d'une compagnie aérienne donnée est donc difficile à prévoir. Par conséquent, **une prise en compte de la croissance réelle dans la méthode d'allocation des quotas semble devoir être recommandée**. Un tel mode d'allocation pourrait aboutir à une croissance globale des émissions du secteur mais des mesures supplémentaires pesant sur les autres secteurs ou l'achat de permis sur les marchés internationaux permettraient à l'Union européenne de respecter ses engagements.

Concernant la méthode de calcul de l'allocation initiale (cf. Annexe 12), une autre question à traiter est celle de la prise en compte des émissions historiques (*grandfathering* ou « droits du grand-père ») des compagnies aériennes. Cette question s'est posée lors de l'élaboration du plan national d'allocation des quotas (PNAQ). Le choix fait par la France d'appliquer un taux de croissance prévisionnel aux émissions d'une période de référence a conduit à de nombreux débats sur les taux de croissance

⁸¹ La cinquième liberté donne la possibilité aux opérateurs de réaliser des vols entre deux États autre que celui où il a reçu sa licence d'exploitation.

⁸² Le Japon, le Canada, la Norvège et la Nouvelle-Zélande ont exprimé à des degrés divers la possibilité de créer un mécanisme de marché de permis et de le relier au marché européen.

prévisionnelle et sur la période de référence. Si les pouvoirs publics décidaient de créer un marché relatif pour le secteur du transport aérien, ces problèmes ne se poseraient pas. Afin de favoriser les actions précoces des compagnies aériennes et, a contrario, de ne pas avantager les compagnies aériennes qui n'ont pas fait d'effort de renouvellement de leur flotte, **il est recommandé de fonder les allocations initiales à partir d'un benchmark technologique ou sur un pro-rata selon les tonnes kilomètres commerciales**⁸³. La référence pourrait être l'efficacité énergétique moyenne des avions, constatée sur l'ensemble du trafic aérien inclus dans le marché de permis. Pour ne pas pénaliser une compagnie en fonction du type de vol qu'elle réalise, il pourrait même être décidé de différencier cette efficacité énergétique en fonction de la longueur des vols.

D) Une inclusion du transport aérien dans le marché européen dès 2008 ne devrait pas contraindre l'Union à des aménagements trop importants en cas d'avancée sur le plan international

Les mécanismes institutionnels choisis pour l'inclusion du transport aérien dans le marché européen de permis pourraient être amenés à évoluer si les discussions internationales sur cette question aboutissaient pour la période post-2012. Si ces négociations internationales débouchaient sur une répartition des émissions aux Etats parties à un nouveau protocole, les Etats membres de l'Union européenne garderaient toute latitude sur la politique à mettre en œuvre. Elle pourrait décider de répartir les émissions entre ses Etats membres ou conserver une distinction pour le secteur aérien européen. Si, l'Union européenne choisissait de procéder, pour la période 2008-2012, à une attribution des émissions aux Etats membres, la règle d'attribution des émissions aux Etats pourrait évoluer en fonction de celle retenue au niveau international.

Si les négociations internationales devaient déboucher sur la création, pour la période post-2012, d'un marché mondial dans le cadre de l'OACI, l'Union européenne devra alors adapter les règles définies au niveau européen à celles agréées sur le plan international. Cette adaptation pourrait conduire à une modification éventuelle du volume de quotas alloués aux compagnies européennes. Toutefois, celles-ci auront gagné un avantage en terme d'expérience de marché de permis par rapport aux compagnies des autres pays. Elles auront notamment déjà commencé à intégrer la « contrainte carbone » dans leurs choix d'acquisition et d'organisation.

Au total, **quel que soit le choix réalisé par la communauté internationale (attribution des émissions du transport aérien aux États parties ou création d'un marché mondial par allocation directe aux compagnies), un marché européen semi-ouvert pourra alors être complètement ouvert** puisque les émissions des compagnies aériennes donneront alors lieu à la délivrance d'Unités de Quantité Attribuée. Une absence de progrès au niveau international, alors qu'un marché aura été créé au niveau européen, ne devrait pas avoir de conséquences majeures sur la compétitivité des compagnies européennes si les recommandations faites ci-dessus ont été respectées.

Enfin, le protocole de Kyoto a créé des mécanismes de projet pour inciter les pays industrialisés à réaliser des projets de réduction des émissions des pays en développement. Si le transport aérien était inclus dans un marché de permis européen, il serait opportun d'étudier la possibilité d'étendre aux transports aériens l'application des projets MDP pour la prochaine période d'engagement. Cela permettrait de **moderniser les flottes d'appareils des pays les moins développés** qui sont aussi les plus anciennes et les moins performantes.

4.5 Analyse comparative des différents mécanismes d'incitation (Réf. 23)

L'impact potentiel de chacun des instruments économiques analysés dans ce rapport est difficile à apprécier car cela suppose de réaliser des simulations à partir d'un modèle de prévision du trafic aérien. Au sein de l'OACI, un groupe de travail a demandé à des spécialistes d'estimer l'impact des différents instruments économiques envisageables tant au niveau mondial qu'au niveau régional (l'annexe 14 rend compte des résultats détaillés des études réalisés par ces spécialistes). Ces simulations ont été réalisées à partir du système de modélisation dénommé AERO développé par

⁸³ Proposition (UK/NL) faite dans le cadre CAEP.

l'aviation civile néerlandaise dans le courant des années 1990. Un scénario de référence dit « en l'absence de mesures supplémentaires » (ou business as usual) a été construit pour l'année 2010 (cf. partie 1.4). Pour chaque instrument économique, la réduction des émissions de CO₂ du transport aérien et la variation de la demande de transport aérien provoquées par cet instrument ont été estimées à partir du modèle AERO en supposant que l'instrument était mis en œuvre sur toute la période 1998-2010 (soit une période de 12 ans).

Les principaux scénarios simulés sont les suivants :

- **Taxation mondiale du kérosène** à trois taux différents (0,23 \$/kg de fuel, 0,50 \$/kg et 1,80 \$/kg) ;
- **Taxation régionale du kérosène** au taux de 0,50 \$/kg pour le kérosène consommé sur les vols au départ des pays de l'Annexe B⁸⁴ ;
- **Modulation des redevances de route en fonction de l'âge des avions** sans génération de revenu (hausse pour les vieux avions et baisse pour les autres) ;
- **Marché mondial** de permis soit ouvert (toutes les activités génératrices d'émissions de CO₂ participent au marché) soit fermé (restreint au secteur aérien) avec allocation initiale par **vente aux enchères** ou avec allocation initiale gratuite (dans les deux cas, le prix des permis est fixé à 5 \$, 15 \$ ou 25 \$) ;
- **Marché régional ouvert** entre les pays de l'Annexe B.

L'impact de ces scénarios sur les émissions mondiales de CO₂ du transport aérien est comparé à trois objectifs (classés du plus au moins strict) :

- T2 : réduction de 5% des émissions mondiales de CO₂ du transport aérien en 2010 (dans le scénario de référence) par rapport aux émissions de 1990 ;
- T1 : réduction de 50% de la croissance des émissions mondiales de CO₂ du transport aérien entre 1990 et 2010 ;
- T3 : réduction de 25% de la croissance des émissions de CO₂ du transport aérien entre 1990 et 2010.

Les simulations relatives à l'utilisation des marchés de permis ont comme principal limite que le prix des permis d'émission est une donnée exogène, qui s'impose au secteur du transport aérien, et non le résultat d'un équilibre entre l'offre et la demande de permis.

Les principales conclusions que l'on peut tirer de ces simulations (cf. tableaux 1 et 2) sont les suivantes.

Ramener les émissions mondiales du transport aérien, à l'horizon 2010 à 95% de leur niveau de 1990 (ce qui correspond à l'objectif global des pays industrialisés aux termes du protocole de Kyoto), par le biais d'une **taxe mondiale sur le kérosène** impliquerait de taxer le kérosène à un taux très élevé de 1,8 \$/kg (le coût de la tonne de CO₂ économisée serait alors de plus de 500 €, ce qui, au cours actuel de baril, correspondrait à une multiplication par 5 du prix du kérosène (provoquant une baisse de la demande de transport d'environ un tiers et une chute des profits des compagnies de 20 Mds\$ par rapport au scénario de référence) ; une taxe fixée au taux de 0,23 \$/kg (ce qui correspond à une valeur de la tonne de CO₂ économisée proche de 70 €) ne permettrait que de limiter la croissance des émissions (42,6% entre 1990 et 2010 au lieu de 57,6%).

Une **taxe régionale sur le kérosène**, au taux de 0,50 \$/kg, appliquée par l'ensemble des pays de l'Annexe B sur tous les vols au départ de cette zone permettrait de réduire d'environ 14% les émissions du transport aérien par rapport au fil de l'eau au prix d'un impact sur la demande assez élevé (-10%).

⁸⁴ Pays industrialisés ou en transition qui ont pris des engagements chiffrés de réduction de leurs émissions dans le protocole de Kyoto

Tableau 20 : Impact de la taxation du kérosène en 2010

	Scénario référence	Taxation mondiale du kérosène			Taxation régionale du kérosène	Modulation des redevances de route
		0,23 \$/kg	0,50 \$/kg	1,8 \$/kg	0,50 \$/kg sur vols au départ Anx B	- 12ans/+12ans
Emissions mondiales de CO ₂ (en Mt)	718	650,9	588,4	430,3	620,3	664,1
Emissions de CO ₂ en % des émissions de 1990	157,3%	142,6%	128,9%	94,3%	137,3%	145,5%
Réduction de la croissance des émissions entre 1990 et 2010 par rapport au BAU	0	25,6%	49,5%	110,0%	37,4% (60% au niveau Annexe B)	20,6%
Variation de la demande mondiale de transport aérien (en RTK, milliard)	780	-6,9%	-13,3%	-32,4%	-10,0%	-1,4%

Source : Analysis of Market-Based Options for the reduction of CO₂ emissions from aviation with the AERO modelling system etude réalisée par Hans Pulles, André Van Velzen, Gerrit Baarse, Richard Hancox et Duncan Edmondson pour le compte du FESG

Un **marché mondial de permis d'émissions de CO₂** incluant toutes les activités génératrices de CO₂ dont l'allocation initiale serait faite gratuitement (sur la base des consommations historiques de kérosène pour le secteur aérien) et sur lequel le prix des permis serait de 25 \$ n'aurait qu'une incidence minime sur les émissions mondiales du transport aérien (les émissions ne seraient réduites que de 0,2% par rapport au scénario de référence) ; en revanche, l'inclusion de l'ensemble des secteurs permet de générer des réductions d'émission dans des secteurs où la tonne de CO₂ économisée est inférieure à 25 \$. A ce prix là, des secteurs comme la production d'énergie ou d'acier disposent de potentiels importants de réduction, qui devraient permettre de générer les permis (environ 280 MtCO₂, pour que le transport aérien réduise ses émissions de 5% par rapport à 1990) dont le secteur aérien a besoin. Il y alors une répartition très déséquilibrée entre les efforts de réduction réalisés en dehors du secteur aérien et ceux réalisés en son sein qui pourrait ne pas être considérée comme acceptable sur un plan politique.

Un **marché régional de permis** entre pays de l'Annexe B, incluant toutes les activités génératrices de CO₂ et sur lequel le prix des permis serait de 45 \$, conduirait à une réduction des émissions du transport aérien d'environ 4% par rapport au fil de l'eau en 2010 ; de la même manière que dans le cas du marché mondial, un prix du permis à 45 \$ devrait inciter les autres secteurs à réduire leurs émissions d'un volume égal aux besoins du transport aérien pour qu'il réduise ses émissions de 5% par rapport à 1990.

Une **modulation des redevances de route** en fonction de l'âge des avions permettrait de réduire de plus de 7% les émissions du transport aérien par rapport au fil de l'eau sans produire d'effets significatifs sur le trafic (une baisse de 1,4% par rapport au fil de l'eau). En effet, les réductions d'émissions seraient, en majeure partie, obtenues grâce à un rajeunissement des flottes des compagnies.

Tableau 21 : Impact d'un marché de permis en 2010

	Scénario référence	Marché mondial avec vente aux enchères des permis			Marché mondial avec allocation gratuite	Marché entre pays Annexe B avec vente aux enchères des permis
		5\$	10\$	25\$	25\$	45\$
Emissions mondiales de CO2 (en Mt) du secteur aérien	718	712,7	702,9	693,3	716,6	686,4
Droits d'émission rachetées par compagnies, générés en dehors du secteur aérien (MtCO2) pour respecter objectif T2		278,7	268,9	259,3	282,6	nd
Emissions mondiales de CO2 du secteur aérien (% des émissions 1990)	157,3%	156,1%	154%	151,9%	155,0%	150,3% (146,3% dans Anx B)
Réduction de la croissance des émissions du secteur aérien par rapport au BAU (1990-2010)	0	2,0%	5,8%	9,4%	4,0%	12,2% (19,5% dans Anx B)
Variation de la demande mondiale de transport aérien (en RTK, milliard) par rapport au BAU (1990-2010)	780	-0,5%	-1,5%	-2,5%	-1,1%	-3,3%

Des résultats des simulations réalisées avec le modèle AERO, il ressort que **l'inclusion du transport aérien dans un marché mondial ou régional de permis est la solution qui permet d'obtenir une réduction significative des émissions** (grâce aux économies réalisées par les autres secteurs) au moindre coût pour les compagnies aériennes. Ces résultats expliquent l'intérêt qu'elle suscite dans la plupart des cercles concernés mais ils constituent en même temps sa faiblesse sur un plan plus politique : le sentiment d'équité vis-à-vis des autres secteurs pourra cependant être restauré si par d'autres mesures le transport aérien « prend son destin en main ». Ils justifient également qu'on place cet instrument en tête des préférences.

Dans la pratique, la principale incertitude porte sur notre capacité collective à monter un système de permis efficace et équitable, convenablement raccordé au marché européen de permis qui vient d'être mis en place au 1er janvier 2005.

Dans l'hypothèse où l'inclusion du transport aérien s'avèrerait trop difficile, il est probable **qu'un système de modulation des redevances de route basé sur le CO₂**, pouvant si possible dégager **un certain produit affecté à la recherche, serait à envisager**.

La **taxe sur le kérosène**, qui incontestablement est l'outil le plus simple, devrait être fixée à des taux prohibitifs pour avoir un impact sur les émissions du transport aérien. Sa mise en œuvre au niveau régional, potentiellement source d'effets pervers, **ne devrait être examinée qu'en dernier recours**.

Enfin, **une taxe sur les billets n'apparaît pas bien adaptée** en raison de la déconnexion de son assiette par rapport aux émissions de gaz à effet de serre.

Le retrait du marché des avions les plus anciens a également été testé dans le rapport AERO (voir annexe 14) et constitue une piste intéressante. Mais l'étude ne dit rien sur la manière d'y parvenir (mesure réglementaire ? incitations ?). On devrait l'examiner sérieusement dans le cadre de la mise en œuvre de mécanismes de développement propre accompagnant la création d'un marché de permis

Recommandation n°5 - Mettre en place l’outil économique le plus approprié au niveau intra - européen avec la perspective d’un élargissement au niveau mondial en tenant compte des critères suivants : efficacité économique, faisabilité juridique au regard des conventions internationales, acceptabilité, distorsions économiques éventuelles, facilité de mise en œuvre. En première analyse le classement par préférence décroissante serait le suivant :

- inclusion du transport aérien dans le marché de permis négociés portant sur le CO2 ;
- modulation des redevances de routes en fonction de la performance énergétique des avions ;
- taxe sur le kérosène ;
- taxe sur les billets d’avion.

5. Comment progresser au niveau européen et international ?

L'Europe produit un peu plus de 20 % du transport aérien mondial et cette part est décroissante. Elle assure en revanche près de la moitié de la construction d'avions civils. Cela permet de mesurer son poids et sa capacité d'influence au niveau international. Il est clair qu'une action autonome a de sérieuses limites et que seule une coopération internationale permettra de limiter de façon significative l'impact du transport aérien sur le changement climatique.

Amorcée au sein du système des Nations Unies, et tout particulièrement à l'OACI, elle a porté principalement jusqu'à présent sur l'approfondissement des connaissances scientifiques, l'élaboration de nouvelles normes environnementales et l'usage des instruments économiques.

La lourdeur inhérente à toute institution internationale, à laquelle s'ajoutent des différences d'approche importantes entre ses membres expliquent tout à la fois la lenteur des progrès constatés dans l'élaboration de mesures relatives aux émissions de GES, la volonté de l'Europe de faire évoluer la situation lors de la dernière Assemblée de l'OACI mais aussi le rejet de ses propositions par les autres pays. La leçon à en tirer est que l'Union européenne n'imposera pas son point de vue face à l'opposition des Etats-Unis mais aussi de grands pays comme la Chine ou le Brésil. Il y a donc une nécessité **d'engager au plus vite des discussions avec les partenaires les plus importants** afin d'explorer les points possibles d'entente.

Des initiatives nouvelles de l'Union européenne paraissent indispensables pour sortir d'une situation bloquée sans attendre la prochaine assemblée de l'OACI qui ne se tiendra qu'en 2007.

L'objet de ce chapitre est d'examiner les **initiatives que la France pourrait proposer ou soutenir**, à l'occasion notamment de l'examen par le Conseil européen de la communication que la Commission prévoit de présenter en juillet prochain sur les questions environnementales que la Conférence européenne de l'aviation civile, en liaison avec la Commission européenne, a inscrite dans son programme de travail. **Il traite tant de leur contenu que des modalités et du cadre dans lesquelles elles devront s'inscrire.**

Quelles que soient les mesures qui seront retenues et mises en place pour la maîtrise des émissions du transport aérien, il est indispensable de se doter d'instruments permettant d'en mesurer l'efficacité. Cette réflexion doit s'engager parallèlement à la mise en place des mesures et devrait aboutir notamment, à une connaissance précise et une publication régulière des consommations de carburant de chaque compagnie aérienne, selon les marchés desservis (intérieur, intra Union européenne, UE-Asie, etc...).

5.1 Orientations générales

L'Union européenne peut jouer un rôle moteur pour limiter l'impact de l'aviation sur le changement climatique. Il faudrait pour cela qu'elle ait une politique et que prenant en compte la dimension internationale du problème, elle cherche à définir avec ses partenaires une stratégie qui puisse englober progressivement l'ensemble du transport aérien international. Une telle stratégie reposera sur la coopération et non pas sur l'affrontement.

L'analyse à laquelle nous avons procédé montre que l'on ne peut obtenir des résultats significatifs qu'en jouant sur plusieurs leviers dans une **politique intégrée mobilisant l'ensemble des acteurs** (constructeurs, opérateurs, pouvoirs publics, centres de recherche) et jouant simultanément sur les différents registres : techniques, économiques, normatifs. Il serait en particulier très trompeur et dangereux de laisser penser qu'un seul de ces outils (par exemple les permis d'émission) peut à lui seul faire face au défi qui nous est posé. Il faut aussi que soit défini **un calendrier** (sorte de feuille de route) dans lequel s'inscrivent les différents progrès attendus à court, moyen et long terme. **Il faut enfin faire partager cette analyse à nos partenaires européens.**

L'Europe peut jouer **un rôle de précurseur**, expérimenter certaines mesures (par exemple intégration du transport aérien dans le système de permis négociés), prendre des initiatives en matière de

recherche, etc... Les seules contraintes sont de respecter les règles du commerce international et de ne pas pénaliser nos opérateurs dans la compétition mondiale.

La prochaine **présidence britannique constitue une opportunité** pour avancer dans l'élaboration d'une politique intégrée, compte tenu de la volonté d'action déjà manifestée par le Royaume-Uni et du rôle que sa diplomatie est susceptible d'avoir vis-à-vis des principaux partenaires non européens.

L'Union européenne doit **renouer le dialogue avec les États-Unis** et quelques grands pays, ce dialogue devant s'articuler avec les débats plus généraux sur « l'après Kyoto » dans lequel l'Europe devra plaider **pour l'intégration de la totalité de l'aviation dans le champ d'un futur accord**. Le cadre de négociation qui permettra à toutes les parties d'estimer qu'elles ont avantage à conclure un accord pour limiter l'impact de l'aviation sur le changement climatique reste en partie à inventer.

La France, en raison de l'importance de son industrie aéronautique et de ses liens avec les pays en développement, peut y contribuer comme elle a pu le faire à propos de la gestion du bruit autour des aéroports, malgré les intérêts très divergents de l'Europe, de l'Amérique du Nord et des pays en développement.

Pour préparer la prochaine Assemblée de l'OACI qui aura lieu à l'automne 2007, des campagnes d'explication de la stratégie européenne et de concertation sur sa mise en œuvre, devraient être organisées à partir de 2006 dans les autres régions du monde. Ces campagnes paraissent indispensables pour que l'Assemblée de 2007 soit l'occasion de débats fructueux, comme cela avait été le cas en 2001 pour aboutir à l'accord sur la gestion du bruit autour des aéroports.

Ces campagnes pourraient impliquer les ONG, et notamment l'*International Coalition for Sustainable Aviation*, fédération d'ONG qui participe déjà aux travaux de l'OACI, ceci afin de créer une dynamique favorable dans l'ensemble du monde pour que l'aviation civile internationale soit bien prise en compte dans « l'après Kyoto ».

5.2 Recommandations spécifiques

A) Les accords volontaires (Recommandation n°1)

Un travail commun devrait être lancé par la Commission en liaison avec les Etats membres avec Eurocontrol l'AIA l'AEA et l'ACI pour mettre au point un (ou des) accord(s) volontaire(s) définissant un ensemble d'actions à mener, pour améliorer l'efficacité énergétique globale du transport aérien. Cet (ou ces) accord(s) volontaire(s), pour être efficace(s), devrait(ent) fixer des objectifs précis et quantifiés, auxquels s'engageraient de manière solidaire les opérateurs concernés.

La forme de ces accords est à définir au cas par cas, il peut s'agir d'engagements unilatéraux, d'accords privés, d'accords négociés ; ces accords selon les cas peuvent concerner tous les types d'opérateurs et seulement certains d'entre-eux.

Une des premières initiatives à prendre en ce sens serait un accord volontaire sur des objectifs de performance énergétique par type d'appareil, à élaborer entre les compagnies aériennes, les constructeurs et les pouvoirs publics, à l'instar de ce qu'applique le secteur automobile. Cet accord devrait être conçu dans une perspective transatlantique.

B) L'approfondissement des connaissances scientifiques (Recommandation n°2 et n°3)

Pour bien orienter les actions visant à réduire les effets radiatifs liés à la formation des traînées de condensation et des cirrus et être en mesure d'en évaluer les bénéfices, les connaissances scientifiques des phénomènes impliqués doivent être approfondies.

A la demande de l'OACI et des Parties au protocole de Montréal, au milieu des années 90, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a élaboré le rapport « L'aviation et l'atmosphère planétaire » qui a été publié en 1999. L'Organisation a plus récemment demandé au GIEC un nouveau bilan des connaissances. Ce ne pourra être fait qu'à l'occasion du quatrième rapport

du GIEC en 2007, soit huit ans plus tard. Le rythme d'acquisition des connaissances et de leur validation devrait manifestement être accéléré.

La France y contribue, notamment par son comité Avion -Atmosphère qui bénéficie de financements de la DGAC. L'Europe devrait soutenir beaucoup plus largement les efforts de recherche dans ce domaine – à la hauteur de l'importance qu'elle y attache - si possible dans le cadre d'un partenariat incluant les Etats-Unis, en appui à son programme de recherche et de développement technologique (voir les propositions à ce sujet au chapitre 3).

C) Le progrès technique : actions en matière de recherche, objectifs de performance, normes et réglementation (Recommandations n°2, n°3 et n°4)

Deux grands constructeurs d'avions de ligne, quatre motoristes, un demi douzaine de majors pétroliers dans le monde, c'est le tout petit nombre d'acteurs⁸⁵ qui devront coopérer en matière de recherche pré-compétitive et de normes relatives aux matériels ou aux carburants.

Les industriels que nous avons rencontrés ont insisté pour avoir des objectifs, une sorte de feuille de route. Ils souhaitent disposer d'un cadre, à moyen et long termes, fixant les contraintes environnementales qui leur seront imposées, en prenant en compte les compromis technologiques entre les différents gains possibles. L'Europe jusqu'à maintenant a été réticente à soutenir cette démarche, craignant que certains y trouvent des prétextes à l'immobilisme.

La définition de cette feuille de route devra se faire avec les industriels. Dès ce stade la coopération transatlantique devrait être renforcée. L'apaisement du conflit entre Airbus et Boeing constitue une opportunité à saisir. Une fois cette convergence obtenue (probablement dans un cadre informel), des propositions pourront être faites à l'OACI (CAEP).

Ces propositions devront s'appuyer, comme celles des experts américains, sur des travaux menés avec des centres de recherche soutenus notamment par le PCRD.

L'accroissement de sévérité de la norme sur les émissions d'oxydes d'azote et son extension à toutes les phases de vol, l'élaboration d'une nouvelle norme sur les particules, l'étude de l'impact de la qualité du kérosène sont au programme de travail du comité CAEP de l'OACI. Des travaux visant à caractériser la consommation de kérosène de chaque type d'avion - prélude à une éventuelle norme pour les émissions de gaz carbonique- ont également été engagés par ce comité.

Il faudrait, tout d'abord, que les experts européens soient plus présents dans les groupes de normalisation d'autant plus que le Congrès américain exige maintenant une étude coût bénéfice pour tout renforcement ou introduction de normes. Parmi les contributions européennes devrait figurer l'élaboration d'un projet de norme sur le soufre et les aromatiques du kérosène (voir §4.1) une telle norme pouvant d'ailleurs n'être qu'européenne dans un premier temps.

Afin d'éviter tout malentendu dans les discussions internationales, il conviendra de bien distinguer les deux usages possibles des normes (qui peuvent être disjoints) : l'application aux matériels nouveaux et aux produits, l'application dans des réglementations locales (aéroports) qui peut conduire à interdire certains types d'appareils (avec des distorsions possibles entre opérateurs).

D) L'usage des instruments économiques (Recommandation n°5)

Comme il a déjà été noté au chapitre 2, la position de l'Union européenne sur l'usage des instruments économiques pour limiter l'impact de l'aviation a fluctué au cours des huit dernières années. Il conviendrait qu'en 2005 l'Union définisse une stratégie crédible, sans ambiguïté quant à ses intentions concernant l'usage des instruments économiques et acceptable par une majorité de ses partenaires non européens.

⁸⁵ Alors que l'OACI comprend 188 membres et qu'il existe plus de 600 compagnies aériennes dont 262 sont membres de IATA.

Cette stratégie devrait être conforme aux résolutions A 33/7 et A 35/15 de l'OACI, adoptées à l'unanimité en 2001 et 2004. Ces résolutions ont entériné puis confirmé le principe d'une participation de l'aviation civile à un ou des systèmes ouverts d'échange de quotas d'émissions.

La proposition britannique d'inclure l'ensemble des vols intra-européens dans le système européen d'échange de quotas d'émissions répond à cette condition. Elle pourrait être soutenue activement par la France, en la considérant comme une première étape en vue d'une extension progressive à d'autres régions.

Sa mise en oeuvre soulèvera deux difficultés principales (que l'on aurait également avec la création de redevances sur les émissions): le traitement des demandes d'exemption des régions européennes périphériques, les négociations avec les pays non européens dont les transporteurs bénéficient de cinquième et septième libertés en Europe.

En conclusion trois éléments saillants émergent : il faut bâtir un programme d'ensemble au niveau européen; nous devons considérer que l'Europe est un cadre d'action et non seulement un lieu d'élaboration de propositions ; il nous faut renouer le dialogue avec les Etats-Unis et certains autres grands pays non seulement dans le cadre formel et incontournable de l'OACI mais aussi dans des instances de concertation plus informelles appropriées à chaque question posée. La France peut y jouer un rôle utile.

Recommandation n°6 – Intégrer le secteur de l'aviation civile domestique et internationale dans le dispositif post-Kyoto en s'appuyant sur les résolutions déjà prises par l'OACI. Etendre progressivement à cette fin le dispositif de permis d'émission négociables mis place par l'Union européenne aux pays industrialisés ou (et) disposant de compagnies de premier rang.

Recommandation n°7 – Approfondir l'ensemble de ces propositions avec nos principaux partenaires européens et la commission dès la prochaine présidence britannique et mettre en place au niveau intra-communautaire les mesures compatibles avec une action autonome de l'Union européenne.

Recommandation n°8 – Rechercher un partenariat entre les États-Unis et l'Union européenne, notamment sur les recommandations n° 2 et 3 afin de nourrir et d'accélérer les travaux et décisions de l'OACI.

6. Conclusion

L'aviation civile s'est trouvée confrontée plus tardivement que les autres activités économiques et les autres modes de transport aux questions d'environnement.

Le problème des nuisances sonores est apparu en premier lieu et l'on peut considérer qu'il a été sérieusement pris en charge par les autorités publiques et les acteurs du transport aérien dans la plupart des pays et sur le plan international : réglementation locale assortie d'incitations économiques, progrès technique stimulé par des normes et réglementations internationales.

La maîtrise des émissions de gaz à effet de serre, dont la nécessité n'est plus l'objet de controverses, est un nouveau défi pour ce secteur, probablement plus difficile que le précédent. Ceci tout d'abord en raison du caractère « global » de ce phénomène, de son impact différé dans le temps, et donc d'une perception plus diffuse dans les opinions publiques. Mais ces spécificités ne sont pas propres au transport aérien et n'ont pas empêché les autres secteurs économiques d'agir.

En revanche la croissance de la demande de déplacements aériens qui est sans équivalent dans le domaine des transports résulte de certains facteurs spécifiques comme l'absence de possibilité de substitution modale pour l'essentiel des déplacements dès que l'on raisonne à l'échelle mondiale (la seule pertinente par rapport au problème posé). Dans ce contexte, l'inexistence, sauf à très long terme, d'alternative technologique crédible qui permettrait au transport aérien d'éviter une totale dépendance de carburants liquides hydrocarbonés constituent bien des contraintes ou des facteurs qui limitent les marges de manœuvre.

Pourtant il nous est apparu qu'il en existait et que certaines n'avaient pas été beaucoup explorées jusqu'à présent. Nul ne s'étonnera que nous n'ayons pas trouvé de mesure miracle, sorte de panacée qui permettrait de répondre à ce défi.

Notre conviction est au contraire qu'il faut combiner différents types d'action qui se renforceront mutuellement : l'action au quotidien des acteurs du transport (compagnies, aéroports, contrôle aérien) qui pourrait être stimulée par un engagement volontaire solidarisant l'ensemble des partenaires et favorisant l'émulation. Ensuite le progrès technique qui sera accéléré par un effort de recherche renforcé et mieux ciblé sur des objectifs environnementaux qui ne peuvent être portés par le seul marché. Ce pourrait être l'objet d'un des grands programmes technologiques dont l'Europe a besoin. Il concernerait aussi bien l'aérodynamisme des avions et les performances des moteurs que les nouveaux matériaux et les carburants. En troisième lieu un renforcement de l'action normative sur les mêmes sujets qui ne peut progresser qu'en liaison étroite avec l'ensemble des industriels concernés. Enfin par la mise en place d'outils économiques dont les finalités premières doivent être d'encourager un comportement responsable des acteurs et la recherche d'une réduction des émissions au meilleur coût.

Au total, on pourrait espérer à l'horizon de 2020 de réduire enfin l'impact du transport aérien sur le climat (émissions nettes de CO₂ et effets dus à d'autres facteurs). L'annexe 15 présente une simulation indicative de la manière de parvenir à un tel objectif.

Ceci paraît possible à deux conditions : tout d'abord un comportement plus coopératif et plus solidaire des acteurs économiques (industriels et opérateurs) entre eux et avec les autorités publiques. En second lieu une capacité renforcée des gouvernements à s'entendre sur des objectifs communs et des programmes d'action coordonnés à l'échelle européenne et mondiale. Une réforme des processus de décision au niveau international, dont l'inertie paraît très grande face au besoin d'agir, en fait partie.

Nous espérons que ce travail pourra être utile dans cette perspective, et tout particulièrement pour l'élaboration durant l'année 2005 d'une position européenne susceptible d'être partagée au niveau mondial.

Maîtrise des émissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile

ANNEXES

Sommaire

Annexe 1.	Lettre de mission	3
Annexe 2.	Liste des entretiens	5
Annexe 3.	Glossaire.....	6
Annexe 4.	Bibliographie citée.....	9
Annexe 5.	Liste des membres du groupe de travail	10
Annexe 6.	Scénarios d'évolutions du trafic aérien et des émissions de CO₂	11
Annexe 7.	Synthèse positions des États membres de l'Union européenne et du Japon en matière de lutte contre le changement climatique.....	14
Annexe 8.	La production de carburants de synthèse à partir de la biomasse	28
Annexe 9.	Outils réglementaires et outils économiques : pourquoi les incitations économiques sont-elles théoriquement plus « efficaces » ?.....	31
Annexe 10.	Modulations des redevances d'atterrissages.....	35
Annexe 11.	L'attribution des émissions du transport aérien international aux Etats	36
Annexe 12.	Modalités de création d'un marché européen de permis pour le transport aérien	38
Annexe 13.	Liaison au marché de permis des industriels européens.....	40
Annexe 14.	Analyse comparative des différents instruments de réduction des émissions à partir des simulations réalisées avec le modèle AERO	43
Annexe 15.	Simulation 2020	48

Annexe 1. Lettre de mission



*Le Ministre de l'Équipement,
des Transports, de l'Aménagement du territoire,
du Tourisme et de la Mer*

*Le Secrétaire d'État
aux Transports et à la Mer*

Paris, le 10 SEP. 2004



référence : D04006664

vue rEE :

affaire suivie par : Secrétariat de M. Morryde
tél. 01 40 81 33 67, fax 01 40 81 38 41
sec-morryde@equipement.gouv.fr

à

Monsieur Jean-Pierre GIBLIN
Président de la 3^{ème} Section
Conseil Général des Ponts et Chaussées

Objet : Mission sur la maîtrise des émissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile

Les émissions de gaz à effet de serre sont devenues une préoccupation majeure pour l'avenir de la planète. Elles sont l'objet de l'attention particulière du gouvernement français, réaffirmée dans le Plan climat arrêté en juillet dernier.

Dans ce cadre, il importe de se préoccuper de la croissance des émissions gazeuses du transport aérien, notamment des émissions de dioxyde de carbone. Nous vous demandons donc d'animer un groupe de travail sur la maîtrise des émissions de gaz à effet de serre de l'aviation d'ici à 2020.

Ce groupe examinera en particulier les points suivants :

- les perspectives d'évolution des émissions, en distinguant notamment les vols intérieurs, les vols entre pays de l'union européenne, et les vols autres vols internationaux ;
- les facteurs de ces évolutions et notamment le trafic et les consommations unitaires des avions ;
- le cadre juridique des actions possibles ;
- les mesures possibles de réduction de la croissance prévue de ces émissions ;
- leur coût-efficacité au regard de l'objectif de maîtrise de leur impact sur l'environnement et leurs retombées sur les divers acteurs concernés (transporteurs français et étrangers, constructeurs aéronautiques, services de navigation aérienne et aéroports).

Vous étudierez les conséquences d'une internalisation des coûts de pollution du transport aérien, en particulier sur la répartition intermodale dans les transports intérieurs.

Vous vous attacherez à replacer les bilans et les actions dans un cadre national, européen voire mondial, ainsi que dans un cadre de comparaison modale dans les transports, notamment quant aux coûts supportés par les opérateurs.

Enfin, vous nous adresserez une ou des propositions d'action des pouvoirs publics notamment sur la scène internationale, en estimant leur faisabilité et leur bénéfice pour la collectivité.

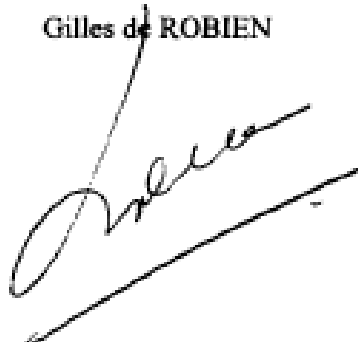
Le groupe que vous animerez associera, outre la direction générale de l'aviation civile et la direction des affaires économiques et internationales, la direction générale de l'énergie et des matières premières et la direction de la prévision du ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, et la direction des études économiques et de l'évaluation environnementale du ministère de l'écologie et du développement durable. La direction générale de l'aviation civile assurera les missions de secrétariat et de rapporteur de ce groupe.

Il semble souhaitable que vous recouriez à l'audition ou à la contribution de toute personnalité ou organisme, notamment étrangers, susceptibles d'apporter une expertise reconnue sur le sujet.

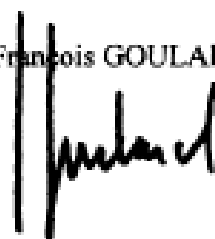
Vos propositions devront être suffisamment détaillées et donc constituer de véritables plans d'action pour pouvoir être mises en œuvre.

Vous nous remettrez votre rapport avant la fin du mois de janvier 2005.

Gilles de ROBIEN

A stylized, cursive signature in black ink, written over the name Gilles de Robien.

François GOULARD

A stylized, cursive signature in black ink, written over the name François Goulard.

Annexe 2. Liste des entretiens

Aéroports de Paris (ADP)	Pierre Graff Didier Hamon Laurine Seinberg
Air France	Jean-Cyril Spinetta Monique Bacqueroet-Lortie Michel Lavernhe Jacques Pichot, Jean-Baptiste Rigaudias, Philippe Jarry, Philippe de Saint Aulaire, Rainer Won Wrede
AIRBUS	Roy Griffins Philippe Joppart
Airport Council International (ACI)	Mme Le Thi Mai Andy Kershaw Andrew Sentence
Association des compagnies aériennes européennes (AEA)	Kathryn Barker Stephen Hardwick
British Airways	Dominique Colin de Verdière
British Airport Authority (BAA)	Hartmut Behrend Mike Crompton Roberto Salvarini Niels Ladefoged Tom Edmonston-Low Jill Adam Martin Capstick Mike Mann David Mc Millan Andrew Watt Michel Petit Colin Baudoin, Jean-François Gruson M. His Xavier Montagne Alexandre Rojey M Cariolle Hans Pulles Pierre Laroche Anne Lise Brasseur François Garnier Jacques Ranvier Pierre Bry Michel Desaulty Philippe Geai Olivier Penanhoat
Centre d'études de la navigation aérienne (CENA) de la direction générale de l'aviation civile (DGAC)	
Commission européenne	
DEFRA : Ministère de l'environnement britannique	
DFT : Ministère des Transports britannique	
Eurocontrol	
Expert auprès du GECC	
Institut Français du Pétrole (IFP)	
Météo France/CERFACS	
Ministère des Transports néerlandais	
ONERA	
SNECMA/SNECMA Moteur	

Annexe 3. Glossaire

ACARE	Advisory Council for Aerospace Research in Europe
ACI	Airport Council International
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AEA	Association European Airlines
AERO	Aviation Emission and evaluation of Reduction Option
AIA	Aerospace Industries Association
AIE	Agence Internationale de l'Energie
ANCAT	Abatement of Nuisance Caused by Air Transport
APU	Auxiliary Power Unit
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATC	Air traffic Control
ATM	Air traffic management
ATS	Air traffic service
BTL	Biomass to liquid
CAEP	Committee on Aviation and Environmental Protection
CDG	Charles de Gaulle
CEA	Commissariat à l'énergie atomique
CEAC	Conférence Européenne de l'Aviation Civile
CENA	Centre d'Etudes de la Navigation Aérienne
CH ₄	Méthane
CIADT	Comité interministériel pour l'aménagement et le développement du territoire
CITEPA	Centre Interprofessionel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
CNUCC	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CO ₂	Dioxyde de carbone
COREPER	COmité des REprésentants PERmanents
COV	Composé organique volatil
CT	Court terme
CTL	Coal to Liquid
dB	Décibel
DGAC	Direction générale de l'aviation civile
DLR	Deutsches Zentrum für Luftund Raumfahrt
DOE	Department of energy
DREE	Direction des relations économiques extérieures
EDF	Environmental Defence Fund
EMHV	Ester Méthylique d'Huile Végétale

ETBE	Ethanol
FESG	Forecast and Economic Support Group
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GTL	Gaz to liquid
HFC	Hydrofluorocarbures
IATA	International Air Transport Association
IFP	Institut Français du Pétrole
IPCC	International Panel on Climate Change (Cf. GIEC)
LT	Long terme
LTO	Landing and Take Off
MDP	Mécanisme pour un Développement Propre
MINEFI	Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MT	Moyen terme
N ₂ O	Protoxyde d'azote
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NO _x	Oxydes d'azote
O ₃	Ozone
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
ONG	Organisation non gouvernementale
PAC	Politique agricole commune
PCRD	Programme Cadre de Recherche et de Développement
PFC	Perfluocarbones
PIB	Produit Intérieur Brut
PKT	Passager-kilomètre-transportés
PNAQ	Plan National d'Allocation des Quotas
PPM	Parties par millions
R&D	Recherche et développement
RTK	Revenue Tonne Kilometer
SBSTA	Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice
SF ₆	Hexafluorure de soufre
SO _x	Oxydes de soufre
TEN-T	Réseau Transeuropéen de Transport
TEP	Tonne équivalent pétrole
TKT	Tonne-kilomètre-transportés

TMA	Région de contrôle terminale
UE	Union européenne
UNFCCC	United Nation Framework Convention on Climate Change (Cf. CNUCC)
UQA	Unités de quantités attribuées
WGIII	Working Group III
WRI	World Resources Institute

Annexe 4. Bibliographie citée

1. Ministère de l'Ecologie et du Développement durable : *Plan climat* – septembre 2004
2. IPCC/GIFC : *rapport 1999 et rapport particulier sur l'aviation civile (Aviation and the global atmosphere)*
3. ONERA : *Etude de l'impact de l'aviation sur l'équilibre de l'atmosphère* – avril 2004
4. OACI : *Perspective du transport aérien d'ici l'an 2025* – septembre 2004
5. Commission européenne : *Analysis of the taxation of aircraft fuel* – 1999
6. Commission européenne : *Le transport aérien et l'environnement* – novembre 1999
7. Commission européenne / CE Delft : *Climate impacts for international aviation and shipping* – septembre 2004
8. OACI : *Possibilités opérationnelles de minimiser la consommation de carburant et de réduire les émissions*
9. Air France : *Environmental report 2003-04*
10. British Airways : *Social and environmental report 2003-2004*
11. Eurocontrol : *Environmental benefits associated with CNS/ATM initiatives* – December 2002
12. Aéroport de Paris : *Rapport d'activité et de développement durable* – 2003
13. British Airport authority : *Aviation an climate change a BAA perspective* – octobre 2003
14. Department for transport . *The future of Air transport* – 2003
15. Ministère de l'Equipeement et des Transports –ENERDATA : *Efficacité énergétique des modes de transports* – janvier 2004
16. OACI / ICF : *Designing a greenhouse gas emissions trading system for international aviation-* octobre 2004
17. Commission européenne : *European aeronautics : a vision for 2020* – January 2001
18. IATA : *Environmental review 2004*
19. World Business Council for sustainable development : *Mobilité 2030* – juillet 2004
20. Ministère de la Recherche : *Nouvelles technologies pour l'énergie* – février 2004
21. OCDE : *Voluntary approaches for environmental policy : an assesment* – 1999
22. Commissariat Général du Plan : *Groupe sur l'actualisation du rapport : « Transports : pour un meilleur choix des investissements »*
23. FESG – AERO. *Analysis of voluntary agreement and open emissions trading system for the limitation of CO² emissions from aviation with the AERO modelling system* – February 2004

Annexe 5. Liste des membres du groupe de travail

Jean-Didier BLANCHET Conseil Général des Ponts et Chaussées (METATTM)

Jean-Christophe BOCCON-GIBOD Direction générale du Trésor et de la Politique Economique (MINEFI)

Elisabeth BOUFFARD-SAVARY Direction générale de l'Aviation Civile (METATTM)

Pascal DOUARD Direction des Affaires Economiques et Internationales (METATTM)

Dominique GARDIN Direction générale de l'Aviation Civile (METATTM)

André GASTAUD (MIES)

Antoine GRELET Direction générale de l'Aviation Civile (METATTM)

Henri LAMOTTE Direction générale du Trésor et de la Politique Economique (MINEFI)

Jean-Luc LESAGE Direction générale de l'Aviation Civile (METATTM)

Grégoire MARLOT Direction générale du Trésor et de la Politique Economique (MINEFI)

Jean-Marc MOULINIER Direction des Affaires Economiques et Internationales (METATTM)

Olivier ROLIN Service Economique et Statistique (METATTM)

Denis ROUX Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières (MINEFI)

Ilangovane TAMBIDORE Direction générale de l'Aviation Civile (METATTM)

Aurélie VIEILLEFOSSE Direction des Etudes économiques et de l'évaluation environnementale (MEDD)

Annexe 6. Scénarios d'évolutions du trafic aérien et des émissions de CO₂

Les perspectives d'évolution mondiales

▪ Les perspectives à moyen terme de l'OACI¹ (2010-2020)

La conception de ce modèle a débuté en 1994 à l'initiative de l'aviation civile hollandaise. Il permet d'évaluer les impacts économiques et environnementaux d'instruments économiques utilisés pour limiter l'impact de l'aviation sur le changement climatique.

Le scénario présenté dans le texte repose sur les hypothèses suivantes :

- l'année de référence prise en compte est 1998 ;
- les scénarios d'évolutions de la flotte mondiale entre 2000 et 2020 du FESG ont servi de base à l'élaboration du scénario de référence ;
- le prix réel du kérosène en 2010 est égal à celui de 1992 ;
- le prix des nouveaux appareils augmente de 1% par an ;
- le coût réel des redevances de route et d'atterrissage augmente de 2% par an ;
- les autres coûts (maintenance, personnel...) augmentent de 1% par an ;
- la demande de transport de voyageurs est basée sur les prévisions d'Airbus² ;
- la demande de transport de fret est basée sur les prévisions de Boeing ;
- la consommation spécifique des nouveaux appareils diminue de 1% par an entre 1998 et 2020 (sur la base des rapports de l'ANCAT et de l'IPCC) ;
- la demande de transport aérien est principalement tirée par la croissance économique ;
- le réseau LGV se développe en Europe d'ici 2010 ;
- le facteur de détour (rapport de la distance parcourue et de la distance orthodromique) est supposé constant.

▪ Perspectives à moyen terme : les modèles NASA, ANCAT et DLR

Le rapport du GIEC *Aviation and the global atmosphere* regroupe les scénarios d'évolution des émissions du transport aérien d'après des modèles développés par la NASA (National Aeronautics and Space Administration, États-Unis), l'ANCAT (Abatement of Nuisances Caused by Air Transport, Commission Européenne) et le DLR (Deutsches Zentrum für Luftund Raumfahrt). Ces modèles estimaient les émissions de CO₂ du transport aérien à partir de l'évolution du trafic et de celle des performances des appareils.

Les estimations de ces modèles reposaient sur les hypothèses suivantes :

- la croissance du trafic aérien mondial entre 1992 et 2015 atteindrait en moyenne 5% par an (sur la base des prévisions de Boeing) ;
- l'efficacité énergétique des appareils progresserait au rythme moyen de 1,3% par an jusqu'en 2010 ; à partir de cette date, ce rythme tomberait à 1% par an.

¹ Les hypothèses liées à ces perspectives ainsi que les autres références en termes de prévisions sont consultables en Annexe 6.

² Les hypothèses retenues en 2000 : +5,3% l'an en PKT (cf tableau 6) sur la période 1998-2020, restent valables aujourd'hui. En effet, les constructeurs prévoient une croissance du trafic en termes de PKT de 5,3% l'an pour Airbus et de +5,2% l'an pour Boeing sur la période 2004-2023 (+6,2% pour le fret selon Boeing), sur la base d'une croissance économique mondiale de 3% l'an. Cette croissance devrait s'accompagner d'un doublement de la flotte mondiale (34 800 appareils en 2023 contre 16 200 en 2003, selon Boeing) et plus précisément de la mise en service de 17 000 (selon Airbus) à 18 600 (selon Boeing) nouveaux appareils (compte tenu des retraits programmés). La mise en exploitation de nouveaux appareils plus performants au niveau environnemental ne peut que contribuer au découplage « croissance du trafic/croissance des émissions ».

Selon le modèle considéré, le volume des *émissions de CO₂ de l'aviation mondiale en 2015* est estimé entre *0,9 et 1,0 milliard de tonnes*, progressant au rythme annuel moyen de +3,5% de 1992 à 2015.

Projection en 2015 des émissions de CO₂ de l'aviation (NASA, ANCAT, DLR)

Millions de tonnes de CO ₂	1992 ³	2015	Croissance 2015/1992	t.c.a.m 1992-2015	Trafic aérien mondial t.c.a.m 1992-2015
NASA	440	973	+121%	+3,5%	+5%
ANCAT	414	905	+120%	+3,5%	+5%
DLR	408	899	+120%	+3,5%	+5%

Source : IPCC

■ Perspectives à long terme de l'OACI

Le FESG de CAEP a élaboré un ensemble de scénarios de croissance des émissions de CO₂ à long terme. Ces scénarios reposaient sur les hypothèses suivantes :

- la demande de transport aérien est principalement tirée par la croissance économique ;
- le prix du kérosène ne varie pas de manière plus importante que les autres coûts ;
- le développement des autres secteurs (TGV, télécommunications) n'a pas d'influence sur la demande de transport aérien ;
- les infrastructures sont suffisantes pour satisfaire l'ensemble de la demande de transport aérien.

Sur ces bases, le FESG a retenu trois scénarios de croissance du trafic aérien à l'horizon 2050 : +2,2%, +3,1% et 3,9% par an, et deux hypothèses de développement technologique :

- Hypothèse 1 : prolongement des tendances observées et amélioration conjointe de l'efficacité énergétique et des émissions de NO_x ;
- Hypothèse 2 : priorité à la diminution des émissions de NO_x.

Dans le cas du scénario de référence, *les émissions de CO₂ de l'aviation mondiale atteindraient 1,5 milliard de tonnes en 2050*, en progression annuelle moyenne de l'ordre de 1,7% depuis 1990, et le trafic aérien de 3,1% l'an.

Projection en 2050 des émissions de CO₂ de l'aviation (FESG)

Hypothèse technologique	Scénario de croissance du trafic aérien	PIB	Population	Émissions de CO ₂ (millions de tonnes)				Trafic en PKT	
		t.c.a.m. 1990-2100	t.c.a.m. 1990-2100	1990	2050	Croissance 2050 / 1990	t.c.a.m 1990-2050	Croissance 2050 / 1990	t.c.a.m 1990-2050
Priorité à l'amélioration l'efficacité énergétique	faible croissance	+1,2%	+0,2%	550	846	+54%	+0,7%	+269%	+2,2%
	référence	+2,3%	+0,7%	550	1 485	+170%	+1,7%	+524%	+3,1%
	forte croissance	+3,0%	+0,7%	550	2 347	+327%	+2,4%	+893%	+3,9%
Priorité à la diminution	faible croissance	+1,2%	+0,2%	550	874	+59%	+0,8%	+269%	+2,2%

³ Les variations entre les émissions estimées pour 1992 s'expliquent par des différences entre les bases de données utilisées, notamment pour les vols militaires. Par ailleurs, compte tenu d'une base de données plus exhaustive, les émissions estimées avec le modèle AERO pour 1992 sont supérieures d'environ 20% à celles obtenues avec les modèles NASA, ANCAT et DLR.

des émissions de NOX	référence	+2,3%	+0,7%	550	1 537	+180%	+1,7%	+524%	+3,1%
	forte croissance	+3,0%	+0,7%	550	2 435	+343%	+2,5%	+893%	+3,9%

Source : IPCC

Perspectives à très long terme : modèle EDF

Dans le cadre du modèle américain EDF (*Environmental Defence Fund*), des scénarios de croissance des émissions de gaz à effet de serre du transport aérien à l'horizon 2100 ont été développés.

Ces scénarios étaient caractérisés aussi bien par l'évolution des variables macroéconomiques (PIB, population) que par la notion de saturation du marché aérien.

Selon le scénario considéré, le volume des émissions de CO₂ du trafic aérien mondial est estimé entre **2,1 à 10,9 milliards de tonnes en 2100**, soit un facteur de progression entre 3,8 et 19,9 ; un rythme cependant plus faible que celui du trafic aérien, compte tenu de l'amélioration de l'efficacité énergétique d'environ 0,9% par an.

Projection en 2100 des émissions de CO₂ de l'aviation (EDF)

Scénario	PNB	Émissions de CO ₂ (millions de tonnes)				Trafic en PKT	
	t.c.a.m. 1990-2100	1990	2100	facteur multiplicatif	t.c.a.m 1990-2100	facteur multiplicatif	t.c.a.m 1990-2100
Faible croissance, saturation lente	+1,2%	550	2 090	3,8	+1,2%	9,6	+2,1%
Croissance modérée, saturation lente	+3,0%	550	4 693	8,5	+2,0%	22,1	+2,9%
Croissance modérée, saturation rapide	+2,3%	550	7 517	13,7	+2,4%	34,8	+3,3%
Croissance élevée, saturation rapide	+3,0%	550	10 963	19,9	+2,8%	52,4	+3,7%

Source : IPCC

Annexe 7. Synthèse positions des États membres de l'Union européenne et du Japon en matière de lutte contre le changement climatique

Remarque : ces renseignements ont été collectés par le Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie (Direction des Relations Économiques Extérieures) auprès de chacun des pays concernés. Les réponses ont été adressées avant l'Assemblée Générale de l'OACI qui s'est tenue en octobre 2004.

- **Quelles sont les mesures mises en œuvre dans votre pays de résidence afin de lutter contre l'effet de serre ? Le cas échéant, quels sont les documents officiels énonçant ces mesures et les dispositions à prendre (éventuellement, sites officiels à consulter) ?**

Allemagne

Des mesures sectorielles ont été prises : mesures de taxation de l'essence, taxe autoroutière pour les poids lourds (mais l'application de cette dernière mesure est très problématique), mesures d'incitation à utiliser des énergies renouvelables (notamment éolienne). Ces énergies produisent 8% de l'électricité. Objectif : 22% en 2020.

Texte spécifique : Plan national d'allocation de quotas d'émissions (concerne actuellement 2350 entreprises (*site web : bmu.de/files/nap_kabi_en.pdf*)

Autriche

Les mesures déjà doivent apporter une réduction de 14 Mtonnes équivalent CO₂, hors effet des mécanismes de flexibilité. Des efforts particulièrement importants sont entrepris pour la construction et les transports.

Un Comité interministériel pour la coordination des mesures concernant la protection du climat (I.M.K.) a été créé en 1991.

Le Plan national (« Nationale Klimatstrategie 2010») a été adopté en 2002. Certains länder ont adopté des plans complémentaires.

Belgique

Le gouvernement fédéral prévoit une série de mesures devant mener à une réduction des émissions de gaz. L'allocation actuelle des droits d'émissions entre les régions est supérieure au montant total autorisé pour la Belgique. Le gouvernement fédéral achètera donc des droits d'émissions pour combler la différence entre 2008 et 2012. Il utilisera aussi les mécanismes du développement propre et le Joint Implementation Program.

Le Plan Fédéral Climat a été adopté en 2002, il a institué une Commission Nationale Climat, entrée en fonction en décembre 2003 dont le but est de coordonner l'action de l'Etat et des Régions. Il y a en effet un plan climat par Région et un plan national.

Ils peuvent être consultés sur les sites suivants :

Site : mineco.fgov.be/climate_change/plan_national_climat_060302.doc (pour le plan national).

Plan wallon :

air.wallonie.be/energie.wallonie.be/servlet/Repository/PlanClimatWallon18j.DOC?IDR=473

Plan Bruxellois : ibgebim.be/francais/contenu/content.asp?ref=463.

Plan Climat Flamand : mineco.fgov.be/energy/climate_change/vlaams_klimaatbeleidsplan_02.pdf

Plan national belge d'allocations de quotas a été publié en juin 2004 ; il est consultable sur les sites web : climatbe/pdfs/Plan_allocation_Belge_fr.pdf et climat.be/fr/quotasCO2.html

Chypre

Aucune mesure.

Espagne

Le Décret royal 5/2004 du 27 août 2004 approuve le commerce des droits d'émission de gaz à effet de serre. *Site web* : mma.es/oecc/pdf/rd_ley_5_2004_ce.pdf

Ces mesures sont inscrites dans le Plan national d'attribution de quotas d'émission approuvé le 6 septembre 2004, dont les grandes lignes sont consultables sur le *site web* : mma.es/oecc/pdf/rd_1866_2004_pna.pdf

Estonie

Les mesures sont inscrites dans la loi de protection de l'air (22 avril 1998) et trois décrets gouvernementaux, notamment le décret du 7 juillet 2000 sur les exigences environnementales pour les aéronefs à moteur.

Ces textes consultables sur le *site web* : legaltext.ee

Finlande

Au Ministère de l'Environnement, une cellule « International Climate Project » coordonne les questions. La Finlande diversifie ses sources d'approvisionnement et choisit les alternatives moins productrices de GES. Les mesures mises en œuvre ou prévues concernent différents secteurs : énergie, transports, construction... On peut noter l'approbation de nouvelles capacités d'énergie nucléaire, la promotion des énergies renouvelables et l'importation d'électricité de Russie. Diverses mesures sont prises pour les transports routiers et l'urbanisme.

Ces mesures sont consultables dans le document suivant :

« National Climate Strategy Finland », disponible sur le *site web* : [ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/CCDA20C55C9000A7C2256A6400218CF2/\\$file/National%20Climate%20Strategy%20Finland_2001.pdf](http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/CCDA20C55C9000A7C2256A6400218CF2/$file/National%20Climate%20Strategy%20Finland_2001.pdf)

Ce plan est en cours de révision, une nouvelle version est prévue en mars 2005. La Finlande aura pris alors une position officielle sur le protocole de Kyoto.

Grèce

La Grèce a pris des mesures dans le secteur de l'énergie et pour la promotion des transports en commun.

Ces mesures ont été fixées dans la décision du conseil ministériel du 27/2/2003, parue au JO 58A du 5/03/2003. Les mesures du plan de lutte contre le changement climatique sont consultables sur le *site* de l'Observatoire d'Athènes : climate.noa.gr/Reports/CC_reports.htm

Hongrie

Les mesures et engagements pris par la Hongrie s'inscrivent dans le Programme National pour l'Environnement élaboré en 1997 et remanié en 2003. L'objectif de réduction de 6% des gaz à effet de serre en 2010 par rapport à 1986 sera atteint sans difficulté. En 2000, les émissions de gaz à effet de serre étaient supérieures de 20% au plafond de Kyoto (fermeture de vieilles usines). Pour les transports, des actions sur le transport routier sont mises en place. La Hongrie n'aura pas de problème pour atteindre ses objectifs sans mesures complémentaires.

Site web : kvvm.hu/szakmai/klima/

Irlande

La politique est inscrite dans le document « Stratégie Nationale sur le Changement Climatique » établi en 2000 et complété en 2002.

Parmi les mesures adoptées les plus importantes, on note l'impôt écologique sur les émissions de CO₂, prévu dans le plan pour 2005. Cependant, cet impôt ne sera pas mis en place comme prévu. En échange, le gouvernement va pratiquer des incitations fiscales. L'Irlande participera au plan d'échanges de quotas d'émissions.

Site web : environment.gov.ie

Japon

Depuis 1998, il existe un plan d'action volontaire pour l'aéronautique : il prévoit en 2010 une réduction des émissions de GES, de 10% par unité de transport aérien par rapport à 1990.

L'ensemble des mesures (non traduites en anglais), sont consultables sur le *site web* : Kantai.go.jp/Foreign/Policy/Ondaka : *guidelines for measures to prevent global warming*.

Lettonie

La Lettonie a ratifié le protocole de Kyoto le 30 mai 2002, qui fixe pour elle une réduction des émissions de GES de 8% sur 2008-2012. Selon le 3^{ème} rapport national de la Lettonie sur le changement climatique, le pays serait, en 2010 45% à 51% en dessous de ses émissions de 1990. L'objectif de Kyoto sera donc dépassé. Actuellement, un nouveau programme national en matière de changement climatique est en cours d'élaboration.

Documents à consulter : loi sur la pollution du 29/03/2001, loi sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement du 30/10/1998, règlement sur les limites annuelles des émissions polluantes du 09/09/2003, règlements sur la qualité de l'air du 21/10/2003. Les documents de l'aviation civile sont consultables sur le *site web* : caa.lv et ceux du ministère de l'équipement sur le *site web* : vidm.gov.lv

Lituanie

La Lituanie a ratifié le protocole de Kyoto le 19/11/2002. Les émissions de GES ont chuté de 50% entre 1990 et 2003. 90% de la pollution est liée aux transports. Une Environmental Protection Agency publie chaque jour sur Internet un état des émissions polluantes. Depuis 1993, la Lituanie participe au programme de l'Administration Nationale Energétique de Suède.

Ces documents sont consultables sur les sites web du ministère de l'environnement : ekm.lt et am.lt
Site web du ministère des transports : transp.lt et *site web de la commission de l'environnement du Parlement* : lrs.lt

Malte

N'a pris à ce jour aucune mesure. Pas de site à consulter.

Pays-Bas

Les Pays-Bas sont signataires du protocole de Kyoto qui fixe un objectif de réduction de 6% des émissions de GES. Le gouvernement actualise chaque année le scénario d'évolution tendancielle à 2010.

L'autorité responsable est le Ministère du Logement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Ce ministère a publié un rapport en deux parties sur la politique du gouvernement. La première partie, publiée en juin 1999, présente les politiques dans six secteurs dont les transports. La deuxième partie traite de la coopération avec l'étranger. La moitié des réductions doit être obtenue à l'aide des mécanismes de flexibilité prévus dans le protocole de Kyoto.

Ces documents sont consultables sur le site web de ce ministère : vrom.nl

Autre site web à consulter : verkeerwaterstaat.nl (Ministère chargé des transports et de l'Eau).

Portugal

Un Programme National des Changements Climatiques (PNAC) est en cours d'élaboration depuis 2000, avec pour objectif de réduire de 27% les émissions de GES par rapport à 2010.

Pour les transports (30% des émissions totales, dont 12% pour l'aviation), l'effort porte sur les transports terrestres (électrification, développement des métros...).

Le 16 septembre 2004, le Portugal a transposé la directive européenne établissant les échanges de quotas d'émissions de GES. Le PNAC prévoit la taxation des émissions de carbone, mais de façon non définie.

Le Portugal a dépassé ses objectifs de Kyoto pour 2000.

Le texte du PNAC est disponible sur le *site web* : iambiente.pt

République Tchèque

Les autorités tchèques ont défini en 1999 une « Stratégie pour la protection du système climatique de la Terre en République Tchèque ». Un nouveau programme national a été approuvé par le gouvernement en 2003.

Ces documents sont consultables sur le *Site web* : env.cz

Royaume-Uni

L'objectif fixé au Royaume Uni par le protocole de Kyoto est une réduction de 12,5% des émissions de GES en 2008-2012 par rapport à 1990. Le gouvernement s'est fixé en outre un objectif national de réduction de 20% des émissions de CO₂ d'ici 2010 et de 60% d'ici 2050. En 2030, le secteur aéronautique représenterait 25% des émissions britanniques. Le gouvernement britannique fera du changement climatique et de l'inclusion du transport aérien dans le système d'échange de quotas une priorité de sa présidence européenne en 2005.

Le document « Climate Change Program » a été publié en 2000. Son actualisation est en cours. Celui-ci prévoyait notamment le lancement d'un marché national de permis d'émissions, qui est actif depuis avril 2002.

Le gouvernement a annoncé le 15 septembre 2004 une actualisation du programme pour le premier semestre 2005.

Ces documents sont consultables sur les sites web suivants :

- defra.gov.uk/environment/climatechange/cm4913

- dft.gov.uk/aviation/whitepaper

Slovaquie

La Slovaquie a ratifié le Protocole de Kyoto en janvier 2002, et a commencé en décembre 2002 les premières transactions de permis d'émissions de GES avec un contrat avec Sumitomo pour la vente de 200 000 tonnes de CO₂ (de 3 ou 5 euros la tonne au cours actuel). La Slovaquie est déjà au-delà de ses engagements de Kyoto (elle affiche une baisse de ses émissions de gaz à effet de serre de 30% pour un objectif de 8%).

La transposition des directives européennes sur la qualité de l'air est achevée.

Les documents sont consultables sur les sites web : telecom.gov.sk et enviro.gov.sk

Slovénie

Ce pays a ratifié le protocole de Kyoto en 2002, et a élaboré un plan pour la répartition des quotas d'émissions entre 96 installations industrielles.

Concernant les mesures, plusieurs domaines ont été identifiés pour chaque secteur, et les possibilités de réduction d'émissions de GES, étudiées. Des efforts sont entrepris pour remplacer le charbon et le pétrole par du gaz et par la biomasse.

Les documents sont disponibles, en anglais, sur le site du ministère de l'environnement, du plan et de l'énergie (*Site web* : gov.si/mop)

Suède

Le niveau d'émissions de CO₂ de la Suède est actuellement très bas par rapport aux autres pays. L'objectif fixé à long terme est une réduction de plus de 50% d'ici à 2050 des émissions de GES (4,5 tonnes de CO₂ par habitant contre 8 tonnes en 2000). Pour atteindre les objectifs, le gouvernement a adopté en 2001 un plan climat qui comprend notamment les mesures suivantes : taxer lourdement le CO₂, et moins le travail, alléger la taxation des véhicules verts et des biocarburants, accorder des subventions aux programmes locaux de réduction d'émissions de GES (340MSEK en 2004, 200MSEK en 2005 et 2006) (1SEK = 0,1 euro).

Parmi les mesures sectorielles, on note en outre la réduction de 40% de l'utilisation d'énergies fossiles. La part des énergies renouvelables atteint 30% pour l'électricité. Pour les transports, les actions portent sur le mode ferroviaire et une promotion de l'éthanol pour le mode routier. Le gouvernement réfléchit au péage urbain.

S'agissant des échanges de quotas d'émissions de GES, une loi vient d'être votée sur les émissions de CO₂, et un décret vient de fixer les conditions de répartition des quotas. L'entrée en vigueur est prévue en janvier 2005. Le système sera étendu à tous les autres GES en 2008.

Le Ministère de l'Industrie, de l'Emploi et des Communications avait présenté en avril 2004 son plan national d'attribution de quotas d'émissions. Un Conseil a sorti au 1^{er} octobre 2004 une liste définitive d'allocation de droits d'émissions ; 605 installations se verront allouer des droits représentant 30% des émissions du pays. Un Système Suédois de Droits d'Emissions va être créé pour gérer ces échanges.

La Suède pratique déjà tous les autres mécanismes de flexibilité : mise en œuvre conjointe (avec les Etats baltes), mécanisme pour un développement propre, échange international d'émissions.

Ces mesures sont consultables sur les sites suivants :

Sites web : stem.se , nutek.se et naturwardsverket.se

- **Quel est l'organisme en charge de la préparation et de la mise en œuvre de cette politique ?**

Allemagne

Bureau Fédéral de l'Environnement (Umweltbundesamt), placé sous l'autorité du Ministère Fédéral de l'Environnement.

Autriche

Ministère Fédéral de l'Agriculture, de la Forêt, de l'Environnement et de l'Eau. Cette compétence est partagée selon les secteurs avec d'autres Ministères et les länder. La coordination de la Stratégie Climat est constituée d'une superstructure supervisant les mesures du protocole de Kyoto, du Comité Interministériel Climat (IMK) et du Kyoto-Forum (qui regroupe les länder). Sous leur autorité, 9 groupes de travail correspondant aux 9 orientations de la Stratégie Climat sont constitués.

Belgique

Deux ministères fédéraux sont en charge de cette question :

Santé publique, Sécurité de la Chaîne Alimentaire et Environnement d'une part,
Economie, Energie, Commerce Extérieur et Politique Scientifique d'autre part.

Chypre

Département des services de l'environnement (Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et de l'Environnement).

Espagne

Groupe Interministériel du Changement Climatique créé en mai 2004, présidé par le secrétaire d'Etat à l'Economie.

Commission de coordination des politiques de changement climatique en cours de constitution pour garantir l'application cohérente du décret royal du 27 août 2004.

Estonie

Ministère de l'Environnement.

Finlande

Un Comité interministériel, le « Climate and Energy ministerial group » dont les travaux sont coordonnés par le Ministère du Commerce et de l'Industrie. Ce comité regroupe les Ministères de l'Environnement, des Transports et des Télécom, de l'Agriculture et de la Forêt, des Affaires Etrangères et des Finances.

Grèce

Ministère de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et des Travaux Publics
Ministère du Développement
Entreprise Publique d'Electricité.

Hongrie

Ministère de l'Environnement et de l'Eau en premier lieu. Le Ministère de l'Economie et des Transports est responsable de l'allocation des quotas.

Irlande

Ministère de l'Environnement, du Patrimoine et des Collectivités locales.

Japon

Quartier Général de prévention de l'effet de serre auprès du premier ministre. La mise en œuvre est déléguée aux différents Ministères, surtout celui de l'Environnement et celui de l'Economie, du Commerce et de l'Industrie.

Lettonie

Le Ministère de l'Environnement et le Ministère des Transports.

Lituanie

Commission de l'Environnement du Parlement (*site web : lrs.lt*) et Ministère de l'Environnement.

Malte

Direction de l'Environnement et de la Planification sous l'autorité du Ministère des Affaires Rurales et de l'Environnement.

Pays-Bas

Ministère du Logement, de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement (VROM), *site web : vrom.nl*, est aussi responsable des mécanismes de développement propre.

Le Ministère des Transports, des Travaux Publics et des Voies d'eau (V & W) gère les dossiers GES transports. *Site web verkeerenwaterstaat.nl*.

Le Ministère des Affaires Economiques (*minez.nl*) est chargé des mesures énergétiques du développement du marché des quotas d'émissions.

Portugal

Commission pour les Changements Climatiques (CAC) sous la tutelle du Ministère de l'Environnement. Elle est composée de représentants des Ministères des Affaires Etrangères, de l'Intérieur, des Transports, de l'Agriculture, de l'Economie et des Finances. La CAC doit préparer la position portugaise au débat du Conseil européen du printemps 2005.

République Tchèque

Département du changement climatique auprès du Ministère de l'Environnement.

Royaume-Uni

Ministère en charge de l'environnement (DEFRA)

Slovaquie

Ministère de l'Environnement (*site enviro.gov.sk/minis/*).

Slovénie

Ministère de l'Environnement, du Plan et de l'Energie, en coordination avec le Ministère des Finances et le Ministère des Transports.

Suède

Ministère suédois de l'Environnement (Miljödepartementet) a la responsabilité globale. L'Agence suédoise de l'énergie (Statens Energimyndigheten ou stem) et l'Agence Nationale pour la Protection de la nature (Naturvårdsverket) sont chargées de l'application de cette politique.

Pour les quotas d'émissions (*site web : utslappshandel.se*), le système est géré par le Ministère suédois de l'Industrie, de l'Emploi et des Communications. Stem, Naturvårdsverket et les Préfectures sont chargées de le mettre en œuvre.

- **Dans le domaine du transport aérien, des mesures sont-elles actuellement déjà appliquées ou envisagées ? Si oui, lesquelles ? Quel est le département ministériel ou l'organisme désigné à cet effet ? Le cas échéant, quels sont les documents officiels énonçant ces mesures et les dispositions à prendre (éventuellement, sites officiels à consulter) ?**

Allemagne

Pas de mesures appliquées ni envisagées spécifiques au transport aérien.

Autriche

Aucune mesure spécifique n'est en vigueur. Dans la Stratégie Climat, les efforts porteront essentiellement sur le transport routier. Le secteur aérien n'est qu'une priorité secondaire, aucune mesure spécifique n'est envisagée à son sujet.

Belgique

Aucune mesure n'est appliquée. La Belgique soutient les initiatives européennes ou internationales.

Chypre

Chypre a approuvé le protocole de Kyoto, et prendra en compte tous les avis avant toute nouvelle législation.

Espagne

L'Aviation Civile espagnole a instauré depuis 3 ans un plan de réduction des émissions de GES, qui est inclus dans le PNA national. Principales mesures : incitations au renouvellement de flotte, aux économies d'énergie, accords volontaires, amélioration de la circulation aérienne, sensibilisation des personnels, étude de la mise en place du commerce des droits d'émission. L'application est actuellement sur une base volontaire.

Estonie

L'Aviation Civile estonienne est chargée de l'application du décret sur les exigences environnementales pour le transport aérien.

Finlande

Aucune mesure.

Grèce

Aucune mesure.

Hongrie

Aucune mesure (l'aviation ne représente que 1% des émissions de la Hongrie).

Irlande

Aucune mesure. Le département compétent est le Ministère des Transports.

Japon

Depuis 1998, un plan volontaire pour l'aéronautique a fixé un objectif de réduction de 10% des émissions par unité de transport aérien en 2010 par rapport à 1990, y compris pour l'international. Le Premier Ministre demande un rapport périodique.

Lettonie

Application des normes européennes et interdiction des avions ne correspondant pas à ces normes.

Documents de l'aviation civile : *caa.lv* Ministère de l'environnement : *vidm.gov.lv*

Lituanie

Le Département de l'Aviation Civile au Ministère des transports contrôle les nuisances sonores, mais pas les émissions de GES.

Pas d'information. *Site web du ministère des transports : transp.lt*

Malte

Malte a ratifié le protocole de Kyoto le 11/11/2001, mais n'est tenue par aucun engagement et n'a donc pris aucune mesure concrète. La Direction de l'Aviation Civile n'a pas encore réfléchi au sujet.

Pays-Bas

Mesures de restriction d'activité à Schiphol, et plafonnement des émissions sur cet aéroport (décret de 2002 amendé en septembre 2004). Les Pays-Bas participent à la recherche internationale. Le Ministère des transports, avec l'appui de bureaux d'études (Ressource Analysis, MVA, ...) a développé le modèle AERO, utilisé par la Commission européenne et l'OACI.

Site web : verkeerwaterstaat.nl

Portugal

Aucune mesure spécifique n'est encore prise. L'Institut National de l'Aviation Civile suit les émissions de GES par l'aviation.

République Tchèque

Pas de mesure spécifique pour l'aéronautique, qui ne représente qu'une part infime des émissions en République Tchèque et n'est pas considérée comme prioritaire. La République Tchèque se contente d'appliquer les décisions prises lors des négociations internationales auxquelles elle participe.

Royaume-Uni

Aucune mesure à ce jour. Mais forte action prévue en 2005 pour les permis négociables. DEFRA et Département des Transports (DFT) travaillent ensemble.

Document « The Future Of Air Transport », DFT décembre 2003.

site web : dft.gov.uk/aviation/whitepaper

Slovaquie

Mise aux normes des moteurs d'avion, et remplacement de la flotte d'appareils soviétiques. Le département ministériel en charge est le Ministère des transports, de la Poste et des Télécommunications.

(site web : telecom.gov.sk et enviro.gov.sk)

Slovénie

Pas de position particulière. Fait confiance aux positions des grands pays européens. Les 10 avions de la compagnie ADRIA (A320 et Bombardier RJ20) sont aux normes européennes.

Site : gov.si/mop

Suède

En 1993, la Suède avait institué une taxe sur les émissions de CO₂ pour le carburant, qu'elle a dû annuler en entrant dans l'Union européenne. Elle l'a remplacée par une redevance d'atterrissage à caractère environnemental différenciée selon le type d'aéronef. Cette redevance prend en compte le bruit et les émissions de HC et de NOX, mais pas de CO₂. Depuis mars 2004, un nouveau système de classification des aéronefs a été mis en place.

Le Ministère de l'Environnement et le Ministère de l'Industrie fixent les objectifs environnementaux du secteur aéronautique.

La LFV (LuftFartsVerket) assume la responsabilité du respect de ces objectifs.

L'Institut Suédois d'analyse des transports et des communications (SIKA) veille à la bonne observation de ces objectifs.

Sites web : stem.se, nutek.se et naturwardsverket.se

- **Quelle est la position officielle vis-à-vis :**

- **des réflexions européennes (notamment en matière de redevance sur les émissions de gaz à effet de serre et de taxation du kérosène) ?**

- **des travaux du Comité pour l'Aviation et la Protection de l'Environnement (CAEP) de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI sur les instruments économiques ?**

- **du projet de résolution qui va être soumis à la prochaine Assemblée de l'OACI (octobre 2004) à Montréal ?**

Allemagne

L'Allemagne soutient le projet de taxation du kérosène, mais à un niveau mondial en raison des risques de distorsion de concurrence et des autres effets négatifs d'une adoption par un groupe restreint de pays. Le DLR étudie la mise en œuvre de redevances différenciées pour l'atterrissage et le décollage.

L'Allemagne est favorable aux accords volontaires et aux échanges de quotas d'émissions et n'accepte pas la proposition du Conseil de l'OACI de reporter l'étude d'une redevance sur les émissions de gaz à effet de serre.

Autriche

Ce pays s'alignera sur le résultat de la négociation européenne.

Belgique

La Belgique attend le résultat des études en cours et ne privilégie aucune des mesures fondées sur le marché en particulier. Une redevance fondée sur les émissions n'est envisageable, pour elle, que si les fonds sont affectés à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

La Belgique est favorable à une action pionnière de la part des Européens et soutient la position de la CEAC à l'OACI.

Chypre

Chypre se conformera aux décisions européennes. En tout état de cause, elle ne veut pas désavantager les transporteurs européens face aux autres. Les instruments liés au marché lui paraissent difficiles et incertains. Elle attend davantage des progrès des constructeurs d'avions.

Espagne

Ce pays est opposé à une redevance sur les émissions de gaz à effet de serre.

L'Espagne participe aux travaux CAEP où elle souhaite être une force de proposition. Elle a la même position que la France.

Estonie

Pas de position.

Finlande

Il est primordial pour la Finlande que les décisions soient prises au niveau international et non pas européen, afin d'éviter les distorsions de concurrence. S'agissant de mesures telles que la taxation du kérosène et les quotas de gaz à effet de serre, la Finlande ne se prononcera que lorsque les décisions auront été prises à un échelon international. Elle accueille favorablement les travaux CAEP.

Grèce

Pas de position officielle à ce jour (octobre 2004).

Hongrie

Pas de position officielle à ce jour (octobre 2004). La Hongrie se rangera probablement aux positions de la CEAC.

Irlande

L'Irlande n'a pas de position sur la taxation du kérosène et les émissions de GES. De telles propositions devraient, selon elle, être étudiées sur une base européenne. Elle est concernée par les travaux CAEP. L'Irlande est prête à examiner des propositions concrètes sur les émissions de GES et considère que l'UE doit avoir le droit d'étendre le système d'échanges de droits d'émissions à l'aviation. L'Irlande a accepté les propositions allemandes contre les amendements américains à l'OACI.

Japon

Ce pays adopte une position ouverte sur les différentes options de CAEP. Sur les réflexions européennes, de nombreux points doivent être approfondis avant que l'OACI n'approuve l'introduction d'une taxation. Le Japon juge inacceptable de limiter une taxation à une région donnée sans étudier les effets sur l'ensemble.

Le Japon est favorable aux formules composites avec instruments non économiques comme l'amélioration du contrôle aérien. Il fait remarquer que des pays non signataires de Kyoto comme le Brésil ou Singapour ont des compagnies puissantes au plan international qui ne devraient pas être exemptées des efforts de réduction.

Lettonie

Elle soutient la position de la CEE à la 35^{ème} Assemblée Générale de l'OACI sur les redevances pour émissions et système d'échange de quotas.

Lituanie

Approuve la position européenne en matière d'émissions de GES.

Malte

Malte s'efforce d'adopter vite les directives européennes. Les premières directives sur la qualité de l'air ont été transposées en 2002. Malte se dit prête au dialogue sur les redevances pour émissions de gaz à effet de serre.

Pays-Bas

Ils considèrent que la taxation du kérosène est possible uniquement à l'échelle internationale, et sont favorables à l'inclusion du transport aérien dans le système d'échange de quotas d'émissions. Ils ne sont pas opposés aux mesures du rapport CAEP, mais doutent de l'efficacité des mesures économiques et des mesures volontaires. Ils soutiennent la position européenne à l'OACI.

Portugal

Le Portugal est favorable à une taxation du kérosène, mais au niveau mondial, et ne veut pas de taxation européenne unilatérale qui créerait une distorsion de concurrence. Ce pays examine une taxe sur les émissions de carbone.

République Tchèque

La République Tchèque se tient aux décisions CEAC. Elle soutiendra toute initiative permettant d'introduire un commerce des permis d'émissions. Si elle ne s'opposera pas à l'introduction de mesures unilatérales par un pays membre, elle n'en prendra pas directement. La République Tchèque est solidaire de la position européenne à l'OACI.

Royaume-Uni

Le Royaume-Uni souhaite laisser ouvertes les trois options de l'OACI. Il participe activement à CAEP et est attaché aux études sur les différents instruments économiques. Il ne partage pas la position américaine de refus catégorique d'une redevance.

Slovaquie

Sa position est favorable aux positions européennes. Elle pratique déjà des droits d'accises élevés sur les dérivés du pétrole, dont le kérosène.

Slovénie

Pas de position slovène sur les réflexions européennes. Il y a une TVA sur le kérosène pour les vols intérieurs, mais le marché est très marginal. La Slovénie soutient la position européenne à l'OACI.

La Slovénie se range à l'avis de la majorité des états de l'UE qu'elle estime plus concernés et plus expérimentés qu'elle. Le secteur aérien est très faible en Slovénie

Suède

La Suède participe activement aux travaux du groupe ANCAT lors de la CEAC. Elle a fait aboutir une proposition de classification des aéronefs par groupes d'émissions de NOX pour pouvoir modifier les redevances aéronautiques en conséquence. La LFV a été chargée, en coordination avec Naturwardsverket et l'administration des impôts, d'évaluer les conséquences d'une taxation du kérosène selon la directive européenne de 2003 : les résultats sont attendus fin 2004.

La LFV soutient les projets de CAEP pour les échanges de quotas d'émissions pour les vols nationaux, mais estime que tous les vols devraient être concernés. La Suède souhaite que le plus grand nombre possible de pays y participe.

La Suède appuiera les initiatives environnementales de l'OACI.

- **Au-delà des mesures mentionnées dans le « Plan Climat » (redevance liée aux émissions de gaz à effet de serre, taxation du kérosène), d'autres mesures sont envisagées, notamment à l'OACI, telles que les accords négociés avec les transporteurs ainsi que les échanges de quotas d'émission avec d'autres secteurs de l'économie qui émettent des gaz à effet de serre. Quelle est la position des autorités de votre pays de résidence sur ces questions ?**

Allemagne

Pas de position arrêtée.

Autriche

Pas de position arrêtée. Les discussions sont en cours. Le Ministère de l'Environnement souhaite pour sa part une taxation du kérosène et des redevances sur les émissions de GES. Le Ministère des Transports privilégie les échanges de quotas d'émissions. L'Autriche est focalisée sur le transport routier, sa position sur l'aérien sera déterminée plus tard. L'Autriche souhaite coopérer activement.

Belgique

Pas de position arrêtée.

Chypre

Pas de position.

Espagne

L'Espagne préfère l'échange de droits d'émission, mais estime que ce ne sera pas suffisant. Les taxes environnementales sont envisageables, mais ne peuvent pas être appliquées seules. L'Espagne refuse toute mesure risquant d'aboutir à des distorsions de concurrence, et demande donc des études plus approfondies, afin d'évaluer notamment les risques de tankering et de surconsommation.

Estonie

Pas de position (trafic aérien trop modeste).

Finlande

La Finlande souhaite des mesures au niveau international et pas seulement européen. Elle est intéressée par les travaux de CAEP.

Grèce

Pas de position officielle.

Hongrie

Pas de position officielle.

Irlande

Pas de proposition actuellement pour des accords négociés avec les transporteurs. L'Irlande veut agir dans le cadre de l'UE, de l'OACI et de la CNUCC.

Japon

Le Japon est favorable aux accords négociés avec les transporteurs. Pour les échanges de quotas d'émissions, il souhaite comparer les avantages et les inconvénients des systèmes volontaires et des systèmes contraignants. Le Japon a approuvé les amendements américains à l'OACI en expliquant qu'ils n'excluent aucune mesure qui soit rigoureusement étudiée.

Lettonie

La Lettonie soutient les accords négociés.

Lituanie

Pas de position particulière.

Malte

Pas d'initiative envisagée dans ce domaine.

Pays-Bas

Les Pays-Bas n'attendent rien des mesures volontaires, mais souhaitent l'inclusion du transport aérien dans le système d'échange de quotas.

Portugal

Pas de position officielle.

République Tchèque

Ce thème n'est pas prioritaire, mais la République Tchèque est ouverte aux discussions, et pense que la démarche de la France auprès d'elle devait être faite au sein de la CEAC.

Royaume-Uni

Il va donner la priorité à l'instauration d'un marché d'échanges de droits d'émissions de GES au niveau communautaire dans un premier temps.

Slovaquie

La Slovaquie est favorable à l'échange de droits d'émissions ; elle a signé un accord avec l'Autriche pour la lutte contre la pollution issue des combustibles.

Slovénie

Ce pays a déjà mis en place un système de quotas, et va donc tout faire pour l'appliquer à tous les secteurs de l'économie.

Suède

Ce pays est favorable aux échanges de quotas d'émissions avec d'autres secteurs de l'économie qui émettent des GES.

Annexe 8. La production de carburants de synthèse à partir de la biomasse

Qu'est-ce que la biomasse ?

La biomasse comprend, pour l'essentiel, la production de matière végétale par photosynthèse. La biomasse animale n'est qu'une partie détournée de la première (par les herbivores puis par les carnivores). Néanmoins, une partie des déjections animales et des déchets divers est également utilisée à des fins énergétiques. La biomasse peut être valorisée sous forme d'énergie :

- par combustion directe (c'est la forme la plus courante, notamment dans la cuisine et le chauffage au bois),
- par transformation en électricité (généralement dans des chaufferies au bois fonctionnant en cogénération),
- par transformation en un biocarburant de synthèse ou en biogaz (par extraction des huiles, par fermentation alcoolique ou par transformation thermochimique).

Quelle est la différence entre les biocarburants de synthèse et les biocarburants conventionnels ?

Les biocarburants actuels ne sont qu'un cas particulier de l'utilisation de la biomasse : il s'agit soit d'huiles végétales (colza, tournesol) utilisées après estérification en mélange dans le gazole, soit d'éthanol (ou de dérivés) produits par fermentation alcoolique des sucres (graine du blé, betterave) utilisé dans l'essence.

Dans ces filières, seules les huiles des graines et les sucres sont valorisés, alors que pour la biomasse, toute la partie ligneuse (notamment la cellulose) de la plante est valorisée. Pour valoriser l'ensemble de la matière, trois grandes filières peuvent être envisagées.

- La première est la synthèse de carburants proche du gazole par le procédé Fischer-Tropsch. On utilise le carbone contenu dans la plante et de l'eau pour produire des hydrocarbures. Ce procédé a été mis au point par les Allemands durant la deuxième guerre mondiale pour produire du gazole à partir de charbon. Il est toujours utilisé en Afrique du Sud pour produire du kérosène.
- La seconde est la fermentation alcoolique de la totalité de la plante (cellulose, lignite et hémicellulose) et pas seulement des sucres pour produire de l'éthanol.
- La troisième est la production d'hydrogène, par réduction de la vapeur d'eau par le carbone contenu dans la plante.

On peut donc utiliser n'importe quelle matière d'origine biologique (y compris certains déchets animaux) et on exploite la totalité du carbone contenu dans la matière (soit 2 à 3 fois plus que dans les biocarburants traditionnels).

Une autre différence importante réside dans le mode d'exploitation de la terre. Les biocarburants conventionnels viennent de cultures nobles (blé, betterave, colza, tournesol) qui exigent des sols agricoles de grande qualité et des apports d'engrais. La production de biomasse n'utilise pas des terres labourables, mais des terres plus pauvres et non exploitées pour l'alimentation (landes, forêts, taillis). Elle n'entre donc pas en concurrence avec la production de nourriture. Cette production peut aussi s'appuyer sur l'utilisation de nombreux déchets (agricoles, ménagers, industriels).

Quels sont les rendements énergétiques de la biomasse ?

Les calculs de rendements sont difficiles, car chaque rapport utilise des unités différentes. Les ressources de biomasse sont parfois exprimées en m³, en tonne de matière sèche, en tep primaire... Par ailleurs, on ne sait pas toujours comment est prise en compte l'énergie nécessaire à la production et à la transformation de la biomasse.

Un hectare de terre produit entre 6 et 20 tonnes de matière sèche par an. Le chiffre de 20t est obtenue par culture d'arbres à pousse très rapide (saule, peuplier) avec une rotation de 3 à 6 ans dans des

conditions extrêmement favorables (donc rares). Un hectare de forêt en zone tempérée produit entre 0 tonnes (forêt âgée à l'équilibre naturel⁴) et 10 tonnes (forêt jeune ou forêt bien exploitée) de matière sèche par hectare et par an.

Cela correspond à 2 à 7 tep d'énergie thermique par combustion directe (chauffage au bois), avec une équivalence d'environ 0,3/0,5 tep par tonne de bois sec (0,15 tep par m³).

Lorsqu'on transforme la biomasse par synthèse Fischer-Tropsch, il faut une énergie importante pour assurer le séchage et la thermolyse du bois et la synthèse du carburant.

D'après les chiffres du CEA, en autothermique (c-à-d. en utilisant la biomasse elle-même pour produire la chaleur), le rendement est de 0,15 tep par tonne de matière sèche) c'est-à-dire de 0,15 tep finale pour 0,35/0,40 tep primaire. Le rendement est donc de l'ordre de 40%. Ce chiffre est à rapprocher du rendement moyen de 35% donné par l'AIE. En allothermique (avec une source d'énergie extérieure, électricité nucléaire par exemple), le rendement peut atteindre 0,5 tep par tonne de matière sèche, soit 120%⁵ (mais il faut tenir compte de l'énergie extérieure apportée pour faire un bilan complet).

En résumé, un hectare produit entre 2 et 7 tep d'énergie primaire, qui peuvent être transformés entre 0,9 et 3 tep de carburant en autothermique et entre 3 et 10 tep en allothermique.

Il faut bien voir que la production allothermique est coûteuse en électricité nucléaire : un tiers de tranche nucléaire de 1500 MWe est nécessaire pour alimenter une usine produisant 1 Mtep par an. Chaque Mtep de carburant produite nécessite alors 3,6 Twh (soit environ 1% de la consommation totale française annuelle).

Le rendement en tep final (compte-tenu de l'énergie de transformation) est plus faible pour les biocarburants conventionnels (entre 0,8 et 2,5 tep au maximum à l'hectare en autothermique et 1 à 5 tep en allothermique).

Quelques chiffres-clés pour comprendre les enjeux liés à la biomasse

La production mondiale annuelle de biomasse est estimée à 220 milliards de tonnes de matières sèches. Cela équivaldrait à 110 milliards de tep en énergie primaire (GIECC Rapport du WGIII) et 33 milliards de tep finales après transformation en biocarburant de synthèse⁶ en autothermique.

La consommation mondiale d'énergie primaire en 2000 est de 9,7 milliards de tep dont 1,2 milliards de tep de biomasse et 7 milliards de tep d'énergie fossile.

Les fourchettes de production mondiale d'énergie finale à partir de la biomasse sont très larges⁷.

Selon l'AIE la production mondiale de biomasse énergétique en 2050 serait comprise entre 3 et 27 milliards de tep d'énergie primaire, pouvant donner entre 1 et 10 milliards de tep de biocarburants de synthèse.

Le GIEC donne un chiffre moyen de 10,5 milliards de tep primaires en 2050, pouvant donner 3,7 milliards de tep de biocarburants de synthèse.

Ces chiffres ne prennent pas en compte la valorisation énergétique des déchets (notamment déchets agricoles et déchets de bois) qui pourraient être utilisés pour produire de l'énergie et augmenteraient fortement ce potentiel. Ces chiffres sont relativement prudents : ils ne prennent pas en compte un développement important des forêts en zone tempérée ou froide et ne prévoient aucune exploitation des forêts tropicales.

⁴ Une forêt âgée non exploitée peut même avoir un impact négatif en terme d'émissions de gaz à effet de serre, notamment par production de méthane et de CO₂ par fermentation des déchets.

⁵ La réaction de thermolyse du bois est fortement endothermique. Les produits de cette thermolyse ont donc un pouvoir énergétique supérieur à celui du produit initial.

⁶ Il est évident qu'il n'est pas possible d'exploiter toute cette production naturelle.

⁷ À cela s'ajoute une incertitude importante sur la façon dont est prise en compte l'utilisation traditionnelle de la biomasse.

Ces chiffres peuvent être rapprochés des besoins mondiaux en énergie finale en 2050 estimés entre 15 et 25 milliards de tep. La biomasse pourrait donc contribuer pour 10 à 40% à ce besoin d'énergie finale.

Actuellement en France, la production énergétique primaire de la biomasse représente 12 Mtep par an sur une production primaire totale de 275Mtep (nucléaire + hydraulique + pétrole + charbon + toutes autres énergies renouvelables).

La forêt occupe 15 millions d'hectares en France et produirait environ 70 millions de tonnes de biomasse sèche (soit 30 millions de t de bois et 40 millions de t de déchets de bois). Seule une partie de cette production est réellement utilisée (environ 20 millions de tonnes de bois et 15 millions de tonnes de déchets de bois). Certaines forêts âgées et non entretenues ont une production pratiquement nulle.

La forêt française a crû en moyenne de 35 000 ha/an depuis 1830. Avec une croissance de 73 000 ha/an sur les douze dernières années, ce mouvement est même en voie d'accélération. D'ici 2050, il y aura donc 2 à 4 millions d'hectares supplémentaires en France.

D'autres terrains pourraient être également exploités (landes, prairies inutilisées, bords de routes, haies...). Ces terres représentent entre 8 et 10 millions d'hectares.

En 2050, des surfaces importantes, non consacrées à la production alimentaire pourraient ainsi être utilisées pour produire de la biomasse en France en production autothermique : 3 à 5 millions d'hectares de forêt existante pourraient produire 3 à 5 Mtep (1tep/ha), 2 à 3 millions d'hectares de forêts nouvelles avec culture d'arbres à croissance rapide pourraient produire 5 à 7,5 millions de tep (2,5 tep/ha) et l'exploitation de 2 à 4 millions d'hectares de terres agricoles en jachère pourraient produire 4 à 8 Mtep (2 tep/ha).

À cela, il faut rajouter 10 à 15 Mtep qui pourraient venir de traitements de déchets (déchets de l'industrie du bois, déchets agricoles, déchets ménagers...).

En production autothermique, on pourrait alors obtenir entre 22 et 35 Mtep de carburants de synthèse⁸ par cette filière, à un prix correspondant à 60/90€/par baril de pétrole. En production allothermique, cette production pourrait tripler (60 à 100Mtep) mais nécessiterait alors 20 à 30 tranches de centrales nucléaires supplémentaires soit 40 à 60% du parc actuel.

Quel est le coût de production des biocarburants ?

C'est la principale inconnue de ce dossier. Pour les biocarburants conventionnels, ce coût est assez bien connu et varie entre 40 et 60\$ l'équivalent baril. Mais, à ce prix, l'usage énergétique est concurrencé par l'usage alimentaire. Ainsi, en France, la production de biocarburants n'est acceptable que sur des terres en jachères. Au Brésil, la production de canne à sucre s'oriente vers le sucre ou l'éthanol selon le cours mondial du sucre ou de l'essence.

Dans les nouvelles filières, le prix risque d'être nettement plus élevé. La collecte et le transport de la biomasse peuvent s'avérer coûteux, surtout si la ressource est très dispersée.

De même, les installations industrielles seront des équipements de haute technologie (en particulier pour la thermolyse de la biomasse et la synthèse).

Les coûts pourront donc être très variables. On peut penser, à terme, qu'il sera proche de celui des biocarburants actuels (60\$ le baril) pour les ressources les plus faciles à mobiliser et qu'il pourrait croître ensuite. Il ne semble pas raisonnable de mobiliser des ressources à plus de 90\$ le baril.

Ces ressources (vers 70-90\$ le baril) ne présentent d'intérêt que s'il y a une lutte réelle contre l'effet de serre, la production de carburants en synthèse Fischer-Tropsch à partir de charbon revenant alors moins cher.

⁸ Sans remettre en cause les 12 M de tep primaires actuellement utilisés en chauffage au bois et en production d'électricité

Annexe 9. Outils réglementaires et outils économiques : pourquoi les incitations économiques sont-elles théoriquement plus « efficaces » ?

Pour atteindre leur objectif de réduction des émissions de CO₂, les pouvoirs publics peuvent s'appuyer sur deux types d'outils : des outils d'ordre réglementaire (normes d'émission, normes sur les carburants), des accords volontaires, et des outils d'ordre économique. Ces outils vont obliger ou inciter les agents, en l'occurrence les compagnies aériennes, à mettre en œuvre des actions de réduction des émissions.

A Réduire les émissions de CO₂ : un coût pour les agents économiques, mais quel bilan pour la collectivité ?

Ces actions ont un coût : ainsi les mesures d'exploitation visant à réduire les consommations supposent un surcroît de travail du personnel, et peut être certains investissements ; de même, les compagnies peuvent opter pour un modèle d'avion qui consomme moins mais coûte plus cher, et peuvent accélérer le renouvellement de leur flotte.

Au-delà de la question du coût pour une compagnie donnée, se pose la question du coût pour l'ensemble de la collectivité. Contraindre, d'une façon ou d'une autre, les compagnies aériennes à réduire leurs émissions de CO₂ peut entraîner une hausse des prix et donc une baisse de la demande. Toutefois, la disposition à payer (donc implicitement, le prix effectivement payé) reflétant l'utilité du consommateur, la perte de surplus est proportionnelle à la hausse du prix. Si la hausse des prix traduit la prise en compte du coût de l'effet de serre due au transport aérien, alors le bilan global de la mesure ne deviendra pas négatif en raison la perte de surplus liée à la baisse de la demande entraînée par la hausse des prix. Autrement dit, il peut être positif, du point de vue de la collectivité, de réduire la demande de transport aérien.

De la même façon, si l'Etat subventionne les compagnies pour qu'elles puissent s'équiper d'avions plus économes en énergie, il faudra augmenter les prélèvements obligatoires. La demande de transport aérien ne diminuera pas directement, mais, plus ou moins directement, l'accroissement des prélèvements entraînera une augmentation des coûts salariaux et/ou une réduction de la demande, qui affecteront les performances économiques du pays.

Le coût de ces actions de réduction des émissions est justifié par la valeur qu'accordent les pouvoirs publics à la tonne de CO₂ (et donc, implicitement, à la réduction de l'effet de serre). Le rapport Boîteux 2 a ainsi fixé la valeur de la tonne de CO₂ à 27€ : cela signifie que le coût d'une mesure doit être inférieur ou égal à 27€ par tonne de CO₂ dont l'émission aura été évitée. Toute mesure dont le coût est supérieur doit être écartée, car sinon le gain de surplus pour la collectivité de la réduction des émissions sera moins important que la perte de surplus liée au coût de la mesure elle-même.

B Qui doit payer ?

A l'échelle de la collectivité, dans le « monde optimal » de la théorie économique, savoir qui doit assumer le coût de la réduction des émissions de CO₂ n'est pas, *a priori*, une question pertinente. Tant que le bilan de la mesure choisie est positif, cela ne change rien au surplus de la collectivité. En ce sens, les compagnies aériennes pourraient être incitées à renouveler leur flotte pour des avions plus économes en énergie, par exemple, soit par des subventions de l'Etat, soit par une incitation qui les conduirait à assumer seules, avec les usagers, le coût de la réduction des émissions (par exemple une taxe sur les émissions). Plusieurs arguments conduisent néanmoins à favoriser la seconde solution.

Dans le monde « réel », les conditions de l'optimum économique ne sont pas respectées (et c'est en grande partie ce qui justifie l'intervention de l'Etat). L'information est imparfaite : l'Etat ne peut savoir quel est le niveau de subvention exactement adéquat à son objectif, il risque donc de distribuer trop ou pas assez. Soit il dépensera trop pour atteindre son objectif, soit il ne l'atteindra pas : dans les deux cas le bilan de la collectivité sera négatif. Il y a par ailleurs de nombreuses « frictions ». Ainsi, choisir de financer une action par l'impôt plutôt que par un prélèvement sur ses seuls usagers n'est pas

neutre. Non seulement le surplus collectif n'est pas réparti de la même manière entre les agents, mais surtout le montant total n'est pas le même. Il y a un « coût d'opportunité » des fonds publics.

Prélever et redistribuer des fonds est coûteux, mais surtout cela affecte l'épargne et la consommation différemment de la taxe. L'allocation des ressources est donc moins efficace, dès lors que le coût de la réduction des émissions pèsera sur de nombreux agents, dont beaucoup ne sont pas les bénéficiaires directs du transport aérien. Implicitement, les agents « non-consommateurs de transport aérien » subiront une contrainte renforcée sur leur consommation des autres biens, alors que les agents « consommateurs de transport aérien » seront incités à consommer plus de transport aérien que l'intérêt de la collectivité ne l'exigerait. Cette répartition inégale peut résulter d'un choix, si la puissance publique considère qu'il faut encourager la consommation de transports aériens, mais en pratique il est très difficile de démontrer la légitimité d'une telle décision.

C L'inefficacité des outils réglementaires

L'objectif de la puissance publique est donc de minimiser le coût de la réduction des émissions de CO₂ pour la collectivité. En théorie économique, la condition de cette minimisation réside dans l'égalité des coûts marginaux de réduction des émissions de CO₂ entre toutes les compagnies.

Si les pouvoirs publics s'appuient sur des outils réglementaires, par exemple des normes d'émission, tous les nouveaux avions mis sur le marché devront respecter ces normes. Les compagnies devront donc assumer un surcoût dans le renouvellement des flottes. Si elles n'ont pas le choix de retarder le renouvellement, le surcoût va affecter différemment les compagnies : les plus rentables pourront peut-être se contenter de réduire un peu leurs marges, tout en laissant leurs prix inchangés, alors que les moins rentables devront répercuter le surcoût sur les prix, voyant ainsi leur clientèle se réduire, et leur chiffre d'affaires diminuer.

Cela signifie que les coûts marginaux de réduction des émissions ne sont pas les mêmes pour toutes les compagnies : la compagnie A qui remplit ses avions à plus de 80% pourra rentabiliser rapidement son nouvel investissement ; la compagnie B dont les avions ne sont remplis qu'à 70% mettra plus longtemps à rentabiliser cet investissement, ou devra davantage augmenter ses prix ; ainsi, le coût de la tonne de CO₂ dont l'émission aura été évitée, en termes de compression des marges ou de baisse du chiffre d'affaires, sera plus faible pour A que pour la compagnie B, mais comme la norme s'applique à toutes les compagnies de façon identique, elles devront réduire leurs émissions dans les mêmes proportions.

D Minimiser les coûts de réduction des émissions : l'intérêt des outils économiques

Si les pouvoirs publics s'appuient sur des outils économiques, par exemple une taxation du kérosène, toutes les compagnies seront soumises à une hausse des prix du carburant. Il faut supposer que les pouvoirs publics connaissent le niveau de taxe nécessaire pour que la réduction des émissions ainsi obtenue soit conforme à leurs objectifs (mais ils peuvent opérer des ajustements ponctuels et procéder par itération). Face à une mesure d'incitation à la réduction des émissions de CO₂, par exemple une taxe sur le kérosène, les compagnies aériennes sont susceptibles de réagir par plusieurs moyens. Elles disposent d'abord de moyens organisationnels : l'amélioration des procédures peut permettre une réduction des consommations et donc des émissions (par exemple en ajustant au mieux les réserves de carburant). Elles peuvent ensuite opter pour des avions plus économes en carburant, voire même accélérer le renouvellement de leur flotte. Elles peuvent également choisir de ne rien faire, et de payer la taxe.

Si elles décident de ne rien faire et de payer la taxe, elles ont le choix entre deux possibilités : laisser leurs prix inchangés et réduire leurs marges, ou répercuter le coût de la taxe sur les prix, au risque de voir diminuer leur chiffre d'affaires (variation de demande liée à la variation de prix). L'arbitrage entre ces deux solutions dépend de l'élasticité de la demande au prix. Plus l'élasticité est proche de 0 et moins la demande est sensible au prix⁹, donc plus les compagnies auront intérêt à répercuter le

⁹ Si l'élasticité est comprise entre -1 et 0, la baisse de la demande sera, relativement, inférieure à la hausse des prix. Si elle est égale à -1, elle sera, relativement, proportionnelle à la hausse des prix, et si elle est inférieure à -1, la baisse sera, relativement, supérieure à la hausse des prix.

surcoût lié à la taxe sur les prix. Inversement, si la demande est très élastique, les compagnies auront intérêt à réduire leurs marges, car si elles répercutaient l'intégralité de la taxe sur leurs prix, leur chiffre d'affaires et, indirectement, leur marge, diminuerait davantage.

Pour que les compagnies décident de mettre en œuvre des mesures de réduction des émissions, le coût de la mesure de réduction des émissions doit être inférieur au coût de la taxe, sachant que le coût de la mesure sera être réparti entre hausse des prix et baisse des marges en fonction de l'élasticité de la demande. Si l'on reprend l'exemple précédent, la taxe sur les prix du carburant va inciter chacune des compagnies à rechercher des avions consommant moins. Toutefois, la compagnie B, qui remplit moins ses avions et donc aurait plus de mal à rentabiliser cet investissement, choisira vraisemblablement de retarder son investissement, et payera davantage de taxe. Inversement, la compagnie A aura vraisemblablement intérêt à accélérer le renouvellement de sa flotte pour économiser du carburant et payer ainsi moins de taxes.

La condition de l'efficacité de l'incitation économique réside dans la possibilité, pour les compagnies, de choisir les modalités de réponse à l'incitation qui minimisent son impact sur leurs résultats. Ces choix permettent d'égaliser les coûts marginaux de réduction des émissions entre les différentes compagnies, et donc de minimiser le coût total de la réduction des émissions par rapport aux mesures réglementaires.

E En pratique, les instruments économiques sont-ils toujours efficaces ?

Les instruments économiques ne sont pas toujours les plus efficaces. Ils se heurtent parfois à des obstacles diplomatiques, politiques ou techniques, à des situations dans lesquelles les pouvoirs publics ne disposent pas des informations ou des compétences nécessaires, ou dans lesquelles les structures de marché et la concurrence imposerait un tel effort de régulation et de contrôle des agents économiques que le coût du dispositif dépasserait largement les avantages qui peuvent en être retirés. Dans ces conditions, le recours à des outils réglementaires peut être moins coûteux. Ainsi la décision de recourir à l'un ou l'autre type d'instruments doit être prise au cas par cas, en fonction du contexte, des objectifs visés, de moyens dont disposent la puissance publique, *etc.*, mais il faut néanmoins souligner que dans la plupart des cas, l'application d'un principe pollueur-payeur raisonné s'avère la solution la plus efficace et la moins distortive.

Le choix d'un instrument dépend de multiples facteurs (cf. tableau) au premier rang desquels son degré d'acceptabilité politique et l'environnement réglementaire et fiscal existants. Par ailleurs, une stratégie « de second rang » coordonnée au niveau international ou régional est parfois plus adaptée qu'une action unilatérale fondée sur l'instrument qui semble en théorie le plus adapté.

Tableau 1 : Conditions d'efficacité des différents instruments de réduction des émissions de polluant

Critère	Réglementation	Instrument prix (dont taxation)	Marché de permis	Accords volontaires
Type de pollution ¹⁰				
Pollution locale	+	variable	variable	+
Pollution globale	Variable	+	+	variable
Augmentation rapide des dommages avec le niveau de pollution et/ou existence d'effets de seuils ¹¹	+	-	+	-

¹⁰ Les instruments réglementaires (comme les normes d'émissions) permettent de plafonner avec certitude les externalités négatives inhérentes à la pollution locale ce que ne permettent pas toujours les instruments économiques (si les coûts locaux de dépollution sont supérieurs au prix de la taxe ou à celui des permis). Dans le cas des pollutions globales, peu importe la localisation des actions de dépollution ; il convient simplement de mettre en œuvre les moins coûteuses

Critère	Réglementation	Instrument prix (dont taxation)	Marché de permis	Accords volontaires
Caractéristiques informationnelles				
Fortes asymétries d'information sur les coûts de dépollution ¹²	-	+	+	-
Coût élevé de mesure des émissions de polluants ¹³	+	-	-	variable
Cible d'action				
Secteurs économiques émetteurs avec prédominance de PME ¹⁴	Variable	+	-	-
Ménages ¹⁵	+	+	-	-
Caractéristiques économiques				
Croissance rapide des coûts de dépollution	-	+	-	+
Faible élasticité-prix de la demande de bien polluant ¹⁶	+	-	-	-
Forte homogénéité des coûts de dépollution	+	-	-	+

¹¹ A moins de connaître très précisément l'élasticité-prix de la demande du bien polluant, la taxation ne permet pas de connaître ex ante le niveau d'atteinte à l'environnement en fin de période.

¹² La présence d'asymétries d'information ne permet pas de savoir si les niveaux de réglementation retenus sont adaptés aux caractéristiques économiques du secteur. Au contraire, le marché permet de révéler des informations non connues (par le biais du prix).

¹³ L'instauration d'un marché nécessite de suivre l'évolution des émissions de chaque entité alors qu'une réglementation suppose simplement des contrôles fréquents et dissuasifs.

¹⁴ L'existence d'un marché de permis entraînerait des coûts de transaction démesurés. La mise en place d'une taxe serait a priori moins coûteuse même si une taxe sur les émissions peut être complexe à mettre en œuvre pour mesurer l'assiette taxable de chacun des assujettis.

¹⁵ Un marché de permis serait excessivement complexe à mettre en œuvre ; par ailleurs, la réglementation est souvent bien adaptée, dans la mesure où les ménages sont parfois moins en mesure que les entreprises de procéder à des analyses intertemporelles de maximisation.

¹⁶ Il est difficile de modifier directement les comportements des agents en agissant sur les prix : une action sur les quantités est préférable.

Annexe 10. Modulations des redevances d'atterrissages

La Suède est pour le moment le seul État membre de l'Union européenne à avoir introduit une modulation des redevances d'atterrissage en fonction des émissions de polluants (NOx et HC). Cette modulation a été introduite pour remplacer la taxe sur les carburants, supprimée en 1997 à la demande de la Commission Européenne. La modulation s'applique, pour les vols intérieurs, aux avions de plus de 9 tonnes au décollage ainsi qu'aux aéroports de plus de 300 000 passagers ou 30 000 tonnes de fret par an. Les avions sont classés en fonction de leurs émissions au cours du cycle atterrissage et décollage (Landing and Take Off, LTO)¹⁷ en sept catégories : les moteurs aux émissions les plus faibles sont classés dans la catégorie 6, les moteurs aux émissions les plus fortes dans la catégorie 0. Les informations sur les émissions des moteurs sont communiquées par les compagnies aériennes à partir de la base de données de l'OACI relative aux émissions d'hydrocarbure et d'oxydes d'azote. Selon leur classification, les redevances d'atterrissage des avions sont augmentées d'un pourcentage correspondant aux émissions des moteurs, cette augmentation variant entre 0 et 30%.

La Suisse a également mis en place, depuis septembre 1997, un système de modulation des redevances d'atterrissage applicable aux aéroports de Zürich, Genève et Bâle. L'assiette des redevances est fondée sur les émissions d'oxyde d'azote (NOx) et celles de composés organiques volatils (COV). Une taxe sur les émissions a été ajoutée aux redevances d'atterrissage qui existaient auparavant. Pour que cette réforme soit neutre en terme de revenus, les redevances d'atterrissage ont été réduites de 5 %. Les avions sont répartis en 5 classes en fonction de leurs facteurs d'émissions de NOx et de COV. Les avions les moins polluants, ceux de la Classe 5 (qui représentaient en 1997 environ 48 % de la flotte), ne paient pas de surtaxe. Les avions de la Classe 4 (17 % des avions) paient une surtaxe correspondant à 5 % de la taxe d'atterrissage. La surtaxe payée par les avions de la Classe 3 (30 % des avions) s'élève à 10 % de la taxe d'atterrissage ; celle payée par ceux de la classe 2 (2 % des avions) s'élève à 20 % et celle payée par les avions les plus polluants, ceux de la classe 1 (2 % des avions) s'élève à 40 %. En fait, par rapport à la situation antérieure, les avions les plus polluants paient un supplément de 35 % sur leur taxe d'atterrissage et les moins polluants ont une réduction de 5 % sur cette même taxe.

Le revenu annuel de cette taxe sur les émissions s'est élevé en 1997 à 2,5 M€ compensé par la diminution de la taxe d'atterrissage. Au niveau environnemental, au moment de la mise en place de cette taxe, les concentrations de NOx dans la zone de l'aéroport de Zurich étaient supérieures de 30 % aux normes annuelles réglementaires et la concentration en ozone, pendant les périodes d'été, était supérieure aux normes de 60 %. Les émissions totales de NOx de l'aéroport étaient de 1,5 kt par an, celles de COV d'environ 0,7 kt par an. Les autorités de l'aéroport prévoyaient que la taxe réduirait de 5 % les émissions de NOx à l'aéroport. Toutefois, la taxe a touché moins d'avions que prévu et, en 1997, les deux tiers des atterrissages n'ont pas eu à payer la surtaxe.

L'impact des modulations suisse et suédoise est difficilement mesurable car il s'agit de petit pays. De plus les compagnies n'ont pas vraiment anticipé l'achat d'avions neufs et n'ont donc pas modifié la composition de leur flotte. Une enquête de l'Association des compagnies aériennes régionales européennes, effectuée en 2000, a montré que 91 % de ces compagnies n'avaient pas modifié la composition de leur flotte en Suisse et en Suède et que 67 % n'envisageaient pas de le faire, même si 73 % d'entre elles payaient des montants plus élevés à cause des taxes environnementales mises en place dans ces deux pays.

La faiblesse de l'impact environnemental des modulations des redevances d'atterrissage en Suisse et en Suède relèverait d'un problème de barème et de valorisation. Un niveau de taxe plus adapté aurait probablement eu des effets plus significatifs. L'impact de cette mesure a donc été *relativement faible*, sans doute en raison de la faiblesse des montants en jeu, et parce que 65% de la flotte bénéficie soit d'un rabais, soit d'un statu quo en matière de taxe d'atterrissage.

1. Il s'agit de tous les mouvements d'avions au-dessous de 915 mètres d'altitude, y compris le ralenti et le roulage. 90% des émissions de polluants locaux sont émis lors de ce cycle.

Annexe 11. L'attribution des émissions du transport aérien international aux Etats

Avant de mettre en place un marché de permis qu'il soit international ou régional, il est nécessaire de choisir une règle d'attribution des émissions du transport aérien international. L'attribution peut être faite soit directement aux compagnies aériennes soit aux Etats.

1. Les quatre principales options examinées par l'organe subsidiaire (SBSTA) de la CNUCC

1.1. Attribution des émissions à l'État où le kérosène est vendu (option 3)

En raison des possibles stratégies de *tankering* (avion embarquant du kérosène en quantité supérieure aux besoins du vol afin de l'utiliser sur le vol suivant), les ventes de kérosène dans un pays donné ne correspondent pas forcément à la consommation finale qui devrait lui être imputée. Les données de l'AIE sur les ventes de kérosène font apparaître ces stratégies notamment pour les pays où le prix du fuel est peu élevé. Par conséquent, cette piste ne semble pas appropriée pour la mise en place d'un marché qui ne concernerait qu'un groupe limité d'États.

1.2. Attribution des émissions aux États en fonction soit de la nationalité de la compagnie aérienne soit de l'État où l'avion est enregistré (option 4)

Au regard du principe « pollueur-payeur », cette méthode n'est pas satisfaisante car elle pénalise les pays dont les flottes sont importantes dans la mesure où ils seraient considérés comme responsables des émissions de vols qui ne décollent pas et n'atterrissent pas du pays dont la compagnie a la nationalité. Toutefois, cet argument pourrait également être avancé pour les émissions des installations fixes dont la production est largement dédiée à l'exportation. Les défauts principaux de cette méthode d'attribution des émissions tiennent à la difficulté de définir la nationalité d'une compagnie aérienne dont l'actionnariat peut être réparti entre différents pays et au risque d'évasion.

1.3. Attribution des émissions aux États en fonction du pays de départ ou de destination du vol (option 5)

Le SBSTA a proposé que le partage entre le pays de destination et le pays de départ soit égal. Le Royaume-Uni a repris cette proposition et recommande d'attribuer 50% des émissions d'un vol intra UE au pays de départ et 50% au pays de destination. Cette méthode est celle qui correspond le mieux au principe de territorialité tel qu'il est appliqué par le protocole de Kyoto. Elle a l'avantage d'être réalisable même si seulement quelques États, comme les États membres de l'UE, décidaient de mettre en place un marché de permis. En effet, cette méthode laisse peu de place à l'évasion dans la mesure où les émissions sont attribuées à un pays quelle que soit la nationalité de la compagnie aérienne. Pour être efficace et ne pas créer de distorsion de concurrence, cette méthode suppose que les compagnies des pays qui ne participent pas au marché soient traitées de la même façon que les compagnies des pays participant.

Il ressort du dernier rapport de l'institut néerlandais, CE Delft (octobre 2004), intitulé *Climate impacts from international aviation and shipping : state-of-the-art on climate impacts, allocation and mitigation policies*, que cette option est la plus réaliste pour le transport aérien international. Elle nécessiterait une remontée des données sur les mouvements, sur la consommation réelle de kérosène de chaque vol et sur le pays de l'aéroport de départ et d'arrivée. Les données sur les mouvements et sur le pays de départ et de destination sont déjà obligatoirement transmises à Eurocontrol. Quant aux données sur la consommation de kérosène de chaque vol, elles sont déjà enregistrées sur un formulaire particulier sans être systématiquement communiquées aux autorités de l'UE. L'UE pourrait imiter les États-Unis et simplement rendre obligatoire la communication des données sur la consommation réelle de chaque vol.

1.4. Attribution des émissions aux États en fonction du pays de destination finale du passager ou de la marchandise (option 6)

Cette méthode serait particulièrement compliquée à mettre en œuvre dans la mesure où elle implique d'avoir accès à des données dont la collecte serait très exigeante. Elle impliquerait en effet de recueillir des données au niveau individuel.

2. Simulation des émissions attribuées aux États selon l'option choisie

Une étude réalisée par le cabinet CE Delft en 2000 a simulé l'impact de chaque option sur les enveloppes attribuées aux principaux pays de l'Annexe 1. Les projections d'émission par pays pour l'année 2010 ont été faites en supposant que chaque pays respectera l'objectif de réduction fixé par le protocole de Kyoto. Le modèle AERO a été utilisé pour reconstituer les émissions dues au transport aérien international (l'année de référence est donc l'année 1992). Pour chaque méthode de répartition, des hypothèses particulières ont été faites.

- Enveloppe d'émissions de CO₂ attribuée à chaque pays pour le transport aérien international en fonction de la méthode de répartition

<i>En MtCO₂</i>	État de vente du kérosène ¹⁸		Nationalité des compagnies aériennes ¹⁹		Pays de destination et de départ de l'avion ²⁰		Pays de destination et de départ du passager et du fret	
	1992	2010	1992	2010	1992	2010	1992	2010
Allemagne	13,75	22,55	16,88	26,51	13,74	22,13	13,99	22,24
Australie	7,80	12,72	6,22	10,21	7,80	12,94	5,39	8,24
Canada	6,09	9,77	7,65	13,24	6,13	9,90	6,10	9,93
Espagne	6,63	9,75	4,57	7,19	6,61	9,72	6,81	9,02
États-Unis	44,24	73,01	52,91	91,54	44,50	74,03	45,77	79,90
France	10,03	15,96	12,07	18,96	10,02	15,97	10,13	16,27
Japon	18,29	38,07	15,75	25,85	18,32	38,10	17,50	39,47
Pays-Bas	5,24	8,80	7,35	11,55	5,25	8,84	5,90	10,11
Royaume-Uni	16,57	27,38	20,50	32,20	16,54	27,53	17,80	28,82

Source : Centre for energy conservation and environmental technology (CE), *National allocation of international aviation and marine CO₂-emissions*, september 2

¹⁸ Tout le kérosène consommé sur un vol est vendu par le pays de départ de l'avion et lui est donc affecté.

¹⁹ Les émissions sont allouées proportionnellement au trafic exprimé en PKT des compagnies de chaque pays.

²⁰ Le nombre de vols au départ et à l'arrivée de chaque pays est connu et les émissions associées à chaque vol ont été estimées à partir d'une typologie des avions et des technologies disponibles.

Annexe 12. Modalités de création d'un marché européen de permis pour le transport aérien

Dans cette annexe, il est considéré que :

- T_0 représente le trafic total sur les routes incluses dans le marché au cours de la période de référence (exprimé en TKT ou PKT) ;
- t_0 représente le trafic de la compagnie au cours de la période de référence sur les routes incluses dans le marché (TKT ou PKT) ;
- t_i représente le trafic de la compagnie au cours de l'année i sur les routes incluses dans le marché (TKT ou PKT) ;
- $p(t_i)$ représente la prévision du trafic de la compagnie au cours de l'année i sur les routes incluses dans le marché (TKT ou PKT) ;
- E_0 représente les émissions induites par les vols inclus dans le marché au cours de la période de référence (exprimées en gramme de CO_2) ;
- e_0 représente les émissions induites par les vols de la compagnie sur les routes incluses dans le marché au cours de la période de référence (exprimées en gramme de CO_2) ;
- e_i représente l'allocation initiale de la compagnie au cours de l'année i pour les vols inclus dans le marché ;
- μ représente le taux d'effort imposé à l'ensemble du transport aérien inclus dans le marché ;

1. Ventes aux enchères ou allocation initiale gratuite des quotas ?

Deux méthodes d'allocation initiale sont a priori envisageables. La première méthode consiste à allouer gratuitement des quotas tandis que la seconde consiste à les vendre aux enchères (ce qui revient à taxer les émissions à un taux égal au prix de marché d'un quota). Les dispositions de la directive permises²¹ prévoient que la vente aux enchères des permis n'intervienne que de façon marginale (5%).

2. Méthode de calcul de l'allocation initiale de quotas

2.1. Les droits du grand-père ou *grandfathering*

L'allocation initiale peut être calculée à partir des émissions historiques et du trafic de la compagnie au cours d'une période de référence. Cette méthode revient à adapter l'allocation en fonction de l'efficacité énergétique de chaque compagnie sur une période donnée et, toutes choses égales par ailleurs, à avantager les compagnies qui ont une intensité énergétique plus faible que les autres. Elle ne permet pas de récompenser les compagnies qui ont adopté des mesures précoces de réduction de leurs émissions. Deux formules d'allocation sont alors possibles selon que le choix porte sur un marché absolu ou relatif.

²¹ Directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil du 13 octobre 2003 établissant un système d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre dans la Communauté et modifiant la directive 96/61/CE du Conseil

(1) Marché absolu : $e_i = p(t_i) \cdot (1-\mu) \cdot e_0 / t_0$

(2) Marché relatif : $e_i = t_i \cdot (1-\mu) \cdot e_0 / t_0$

2.2. Le benchmark technologique

L'allocation peut être calculée à partir d'une efficacité énergétique moyenne des compagnies aériennes (*benchmarking*). Cette méthode de calcul permet de prendre en compte les mesures précoces de réduction des émissions et ne donne pas de « prime » à la compagnie dont les émissions sont, toutes choses égales par ailleurs, supérieures.

(3) Marché absolu : $e_i = p(t_i) \cdot (1-\mu) \cdot E_0 / T_0$

(4) Marché relatif : $e_i = t_i \cdot (1-\mu) \cdot E_0 / T_0$

Au total, les 4 formules ci-dessus montrent que, plusieurs décisions sont d'une portée majeure dans l'établissement du marché de permis.

- Le choix de se fonder sur des prévisions de croissance pour allouer initialement les quotas. Le PNAQ français avait fait ce choix. Les incertitudes et les difficultés liées à cette méthode plaident en faveur de son abandon.
- Le taux d'effort imposé au transport aérien intracommunautaire : quel doit être son intensité et faut-il le différencier par compagnie ? Le taux d'effort détermine la contrainte carbone qui va peser sur chaque compagnie. Pour ne pas soulever d'interrogations quant aux distorsions de concurrence éventuelles, un taux uniforme semble être la seule solution envisageable. Dans le cadre du PNAQ, ce taux d'effort était uniforme et fixé à environ 2,5%.

3. Les coûts administratifs induits par l'organisation d'un marché incluant le transport aérien ne devraient pas être dissuasifs

La faisabilité d'un système de marché repose, en partie, sur la lourdeur des données qu'il impose de traiter et sur la fiabilité de ces données. Un marché de permis fondé sur une allocation initiale faite directement aux compagnies aériennes en fonction du trafic constaté (marché relatif) et d'un benchmark technologique ne devrait pas induire de lourdeur excessive dans la transmission des données, et ne devrait pas entraîner de coûts de transaction excessifs. En effet, les données sur les mouvements et sur les pays et les noms des aéroports de départ et d'arrivée sont déjà obligatoirement transmises à Eurocontrol. De plus, les compagnies enregistrent déjà leur consommation de carburant pour chaque vol. Pour faciliter un contrôle des données transmises, il pourrait être prévu que les compagnies transmettent l'information relative à la consommation réelle sur chaque vol à l'autorité en charge du marché (comme l'ont fait les Etats-Unis).

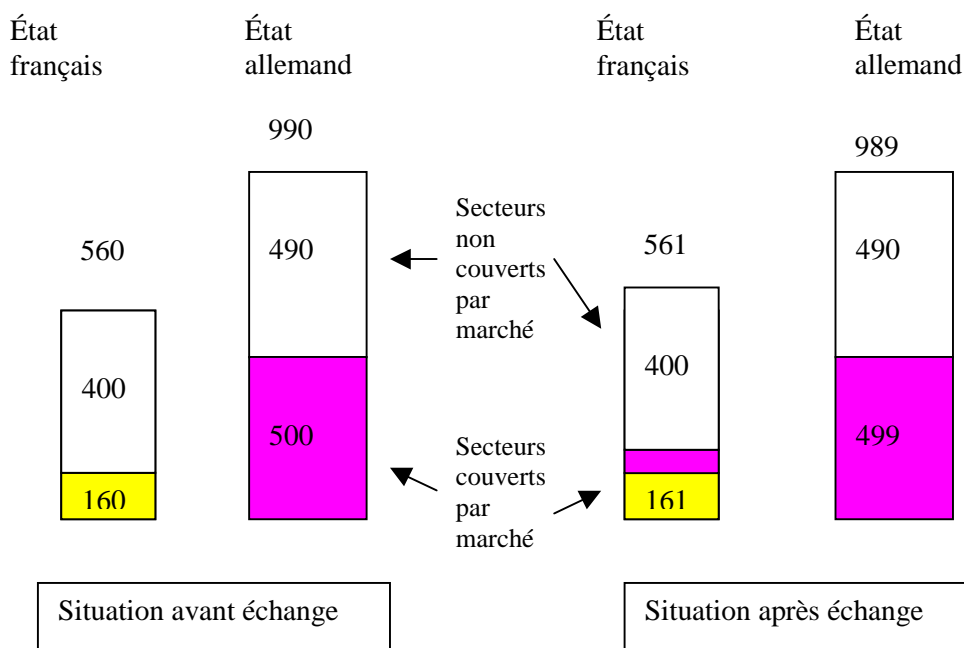
Annexe 13. Liaison au marché de permis des industriels européens

Le considérant 10 de la directive 2003/97/CE établissant un système d'échange de gaz à effet de serre dans la communauté précise que *"pour la période 2008-2012, les transferts de quotas à un autre État membre entraîneront des ajustements correspondants d'unités de quantités attribuées au titre du protocole de Kyoto."*

Le problème qui va se poser est le suivant. Au titre du protocole de Kyoto, chaque Etat reçoit un montant d'unités de quantités attribuées (UQA) correspondant à son objectif de Kyoto. La France disposera ainsi chaque année entre 2008 et 2012 de près de 560 Mt de UQA. On suppose dans la suite de ce papier que la France a décidé d'allouer à ses industriels dans le cadre du marché de permis européen 160 Millions de quotas²², elle ne disposera donc plus que de 400 Mt de UQA pour les secteurs non couverts par le marché de permis européen.

▪ Échange de permis entre industriels

Supposons qu'un industriel français a reçu une allocation de 10 Mt de quotas. Il émet en 2008 11 MteCO₂, et achète 1 MteCO₂ sur le marché européen à un industriel allemand. Il y a un transfert de 1 M de UQA du registre de l'État allemand vers le registre de l'État français.



En fin d'année, l'industriel français restitue 11 MteCO₂ à l'État français. L'État français a émis 561 MteCO₂ et dispose de 561 Mt de UQA. L'État français dispose donc toujours de 400 Mt de UQA pour les secteurs non couverts par le marché.

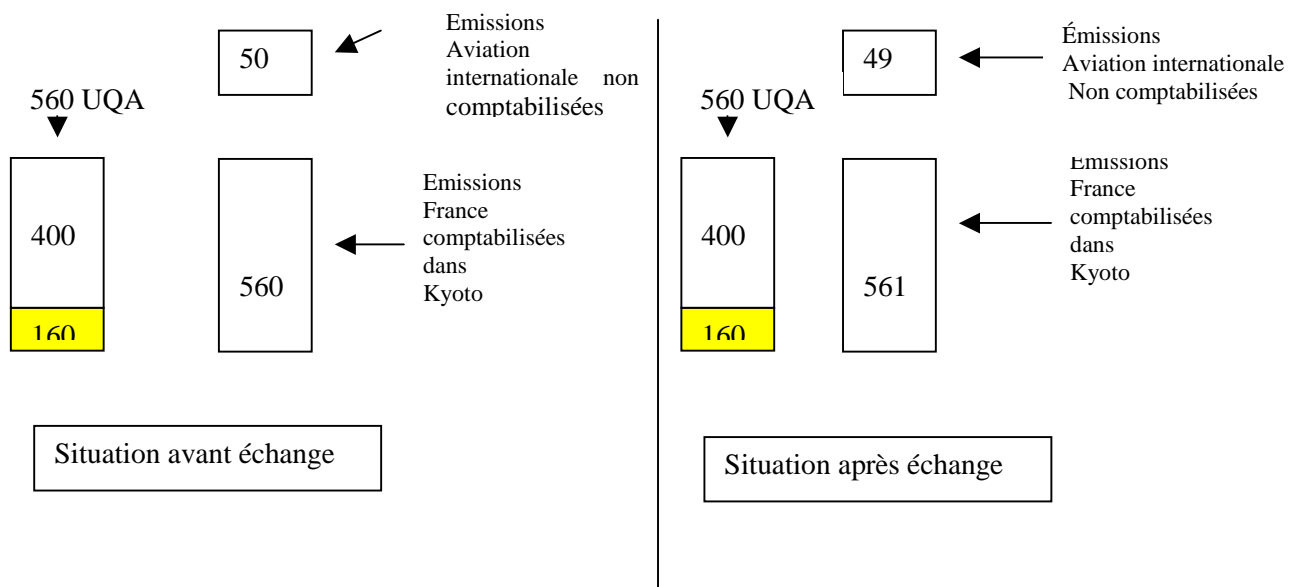
En fin d'année, l'Allemagne aura émis 989 MteCO₂ (puisque l'industriel allemand a diminué ses émissions de 1 MteCO₂) et elle dispose de 989 M UQA. L'Allemagne dispose toujours de la même quantité pour les secteurs non couverts par le marché : 490 M UQA.

L'échange de permis entre industriels est transparent pour les deux États.

²² Le quota est l'unité sur le marché de permis européen. Un quota est égal à 1 MteCO₂.

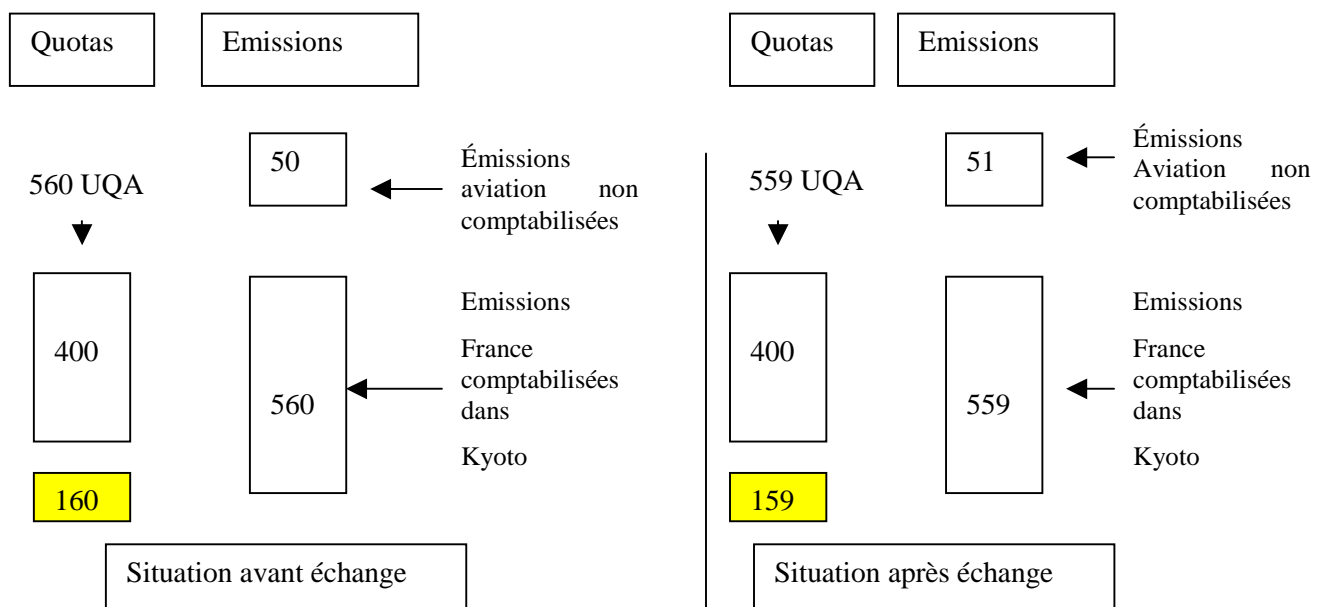
▪ Échange de permis entre un industriel et une compagnie aérienne

Supposons maintenant qu'un marché de permis a été mis en place pour le secteur de l'aviation avec des objectifs de réduction pour les vols communautaires et domestiques. L'industriel français émet toujours 1 MteCO₂ de plus que l'objectif qui lui a été assigné, il achète 1 MteCO₂ à Air France qui a réduit ses émissions de 1 MteCO₂ sur un vol vers l'Europe. Ce vol n'est pas compté dans les émissions françaises au titre du protocole de Kyoto. Les émissions globales françaises sont inchangées (Air France émet 1 MteCO₂ de moins et l'industriel français émet 1 MteCO₂ de plus). Les émissions du secteur de l'aviation ont diminué de 1 MteCO₂ et les émissions de l'État français comptabilisées au titre du protocole de Kyoto ont augmenté de 1 MteCO₂. Or, l'État français dispose toujours de la même quantité d'UQA.



En fin de période, l'État français dispose de 560 Mt de UQA or les industriels français ont émis 161 MteCO₂. Les émissions de la France sont donc de 561 MteCO₂. L'État français n'est pas en conformité avec Kyoto.

Supposons maintenant que l'échange se fasse en sens inverse. Air France achète 1 Mt de quotas à un industriel français. L'industriel français a réduit ses émissions de 1 MteCO₂, il restitue à l'État français en fin d'année 9 Mt de quotas et il a émis 9 MteCO₂. La France disposera de 559 M d'UQA en fin de période et elle aura émis 559 MteCO₂. Cet échange est transparent pour l'État français.



En conclusion, tant que les émissions des vols intra communautaires de l'aviation ne sont pas comptabilisées au titre du protocole de Kyoto, le lien du marché de permis européen à un marché de permis de l'aviation ne sera possible que dans un seul sens. C'est à dire que le secteur de l'aviation pourra acheter des permis sur le marché européen mais que les industriels couverts par le marché de permis ne pourront pas acheter des permis au secteur de l'aviation.

Annexe 14. Analyse comparative des différents instruments de réduction des émissions à partir des simulations réalisées avec le modèle AERO

Au sein de l'OACI, le Forecast and Economic Support Group a demandé à des spécialistes (Hans Pulles, André Van Velzen, Gerrit Baarse, Richard Hancox et Duncan Edmondson) d'estimer l'impact des différents instruments économiques envisageables pour maîtriser les émissions de CO₂ du transport aérien. Les simulations ont été réalisées à partir du système de modélisation dénommé AERO développé par l'aviation civile néerlandaise dans le courant des années 1990. Un scénario de référence dit « en l'absence de mesures supplémentaires » (ou *business as usual*) a été construit pour l'année 2010. Pour chaque instrument économique, la réduction des émissions de CO₂ du transport aérien et la variation de la demande de transport aérien provoquées par cet instrument ont été estimées à partir du modèle AERO en supposant que l'instrument était mis en œuvre sur toute la période 1998-2010 (soit une période de 12 ans). Il faut souligner que toutes les valeurs monétaires sont exprimées en dollar des Etats-Unis de l'année 1992.

1. Le scénario de référence

La construction du scénario de référence aboutit à des données désagrégées de trafic dans les différentes zones mais ses principales caractéristiques sont les suivantes.

- La demande de transport aérien estimée à 780 milliards RTK (augmentation de près de 85% entre 1998 et 2010).
- Les émissions de CO₂ du transport aérien en 2010 sont estimées à 718 Mt (soit une hausse de près de 40% entre 1998 et 2010) sur la base d'une consommation totale de kérosène de 227,4 Mt.

2. La définition d'objectifs de réduction des émissions de CO₂ du transport aérien

Les différents instruments sont évalués par rapport à leur capacité à atteindre un des trois objectifs suivants :

- T1 : une réduction de 50% de la croissance des émissions de CO₂ du transport aérien entre 1990 et 2010 (par rapport au scénario fil de l'eau) ; soit une cible de 587 MtCO₂ en valeur absolue ;
- T2 : une réduction de 5% des émissions de CO₂ du transport aérien en 2010 par rapport aux émissions de 1990 ; soit une cible de 434 MtCO₂ ;
- T3 : une réduction de 25% de la croissance des émissions de CO₂ du transport aérien entre 1990 et 2010 (par rapport au scénario fil de l'eau), soit une cible de 653 MtCO₂

3. Les différents scénarios envisagés et leur impact

Parmi l'ensemble des options possibles, les travaux préliminaires ont permis d'écarter plusieurs scénarios. L'option consistant à créer un marché de permis fermé, c'est-à-dire dédié au secteur aérien, a été écartée car les résultats sont très semblables à ceux obtenus par des taxes et redevances environnementales. En effet les prix des permis qui permettent d'atteindre les objectifs de réduction sont équivalents aux taux de taxe nécessaires pour atteindre les mêmes objectifs. Les options fondées sur les engagements volontaires ont également été exclues car elles sont très coûteuses pour les compagnies et ne permettent pas de respecter l'objectif de réduction de 50% de la croissance des émissions (T1). L'inclusion du contrôle aérien dans les engagements volontaires permettrait d'atteindre l'objectif T1 mais à un coût encore plus élevé pour les compagnies. Le coût représenté par des engagements volontaires compatibles avec un des trois objectifs de réduction rend tout engagement volontaire de ce type très improbable car les compagnies auraient peu d'intérêt à adopter volontairement de telles mesures de réduction.

Parmi les options retenues par l'étude, seuls les scénarios suivants seront détaillés par la suite :

- **Taxation mondiale** du kérosène selon 3 options :
 - 0,23 \$/kg de fuel (scénario FT23) ;
 - 0,50 \$/kg (scénario FT50) ;
 - 1,80 \$/kg (scénario FT180).
- **Taxation mondiale du kérosène avec affectation des recettes** au financement du retrait de la flotte des avions les plus âgés selon deux options :
 - 0,23 \$/kg et retrait des avions de plus de 16 ans (scénario FT23PS16) ;
 - 0,50 \$/kg et retrait des avions de plus de 15 ans (scénario FT50PS15).
- **Taxation régionale du kérosène** au taux de 0,50 \$/kg pour le kérosène consommé sur les vols au départ des pays de l'Annexe B²³ (scénario FT50AnBG2) ; cette option est la plus proche de celle d'une taxation du kérosène consommé uniquement sur les vols intérieurs à l'Annexe B.
- **Modulation des redevances de route en fonction de l'âge des avions** avec multiplication par deux des redevances pour les avions de plus de 12 ans et réduction de moitié des redevances pour ceux qui ont moins de 12 ans ; l'objectif est de générer aucun revenu ; il est supposé que les compagnies répercutent sur leur tarif le surcoût lié au rajeunissement de leur flotte (scénario RN-WD).

Tableau 1 : Impact de la taxation du kérosène et de la modulation des redevances

	Scénario BAU	FT23	FT50	FT180	FT23PS 16	FT50P S15	FT50AnBG 2	RN-WD
Emissions de CO ₂ (en Mt)	718	650,9	588,4	430,3	589,1	534,5	620,3	664,1
Emissions de CO ₂ en % des émissions de 1990	157,3%	142,6 %	128,9%	94,3%	129,2%	117,2%	137,3%	145,5%
Réduction de la croissance des émissions entre 1990 et 2010 par rapport au BAU	0	25,6%	49,5%	110,0%	49,2%	70%	37,4% (60% au niveau Annexe B)	20,6%
<i>Répartition de la réduction des émissions</i>								
Réduction de la demande de transport aérien ²⁴		68%	68%	75%	35%	48%	67%	18%
Progrès technologique		32%	32%	25%	65%	52%	33%	82%
Variation de la demande de transport aérien (en RTK, milliard)	780	-6,9%	-13,3%	-32,4%	-6,9%	-13,3%	-10,0%	-1,4%
Variation des résultats opérationnels des compagnies (en Md de \$)	12,5	-0,49	-2,24	-19,76	-0,49	-2,24	-1,3	-0,26
Variation du surplus des consommateurs (en Md de \$)	0	-47,6	-98,7	-304,3	-47,6	-98,7	-70,1	-10,9

- **Marché mondial** de permis selon plusieurs options :
 - Marché ouvert (toutes les activités génératrices d'émissions de CO₂ participent au marché) avec **allocation initiale par vente aux enchères** et un prix des permis supposé égal à 5 \$ (scénario OT2_1005a), 15 \$ (scénario OT2_1015a) ou 25 \$ (scénario OT2_1025a) ; le prix des permis est considéré comme une donnée pour le secteur aérien (il dépend de l'offre et de la demande de permis des autres secteurs) ;
 - Marché ouvert avec **allocation initiale gratuite** et un prix des permis supposé égal à 25 \$; l'allocation initiale de quotas est faite sur la base des consommations de

²³ Pays industrialisés ou en transition qui ont pris des engagements chiffrés de réduction de leurs émissions dans le protocole de Kyoto

²⁴ Les élasticités retenues pour l'estimation des impacts des différents scénarios sont les suivantes : -0,7 pour le transport de passagers et pour le fret, avec des variations de l'élasticité de la demande de transport de passagers selon le type de route (-0,9 pour les trajets Amérique du Nord – Europe et -0,6 pour le trafic intérieur américain).

kérosène en 1992 et d'un des trois objectifs globaux (commun à l'ensemble des secteurs) de réduction des émissions.

Tableau 2 : impact du marché de permis

	Scénario BAU	OT2_10 05a	OT2_10 15a	OT2_10 25a	A- OT2_102 5g	B – OT2 – 1025gf	OT2_10 25as25	OT2_10 25as30	OT2_10 45aG2 AnxB
Droits d'émission alloués au secteur aérien pour respecter objectif T2 (MtCC2)		434	434	434	434	434	434	434	nd
Droits d'émission rachetées par compagnies, générés en dehors du secteur aérien (MtCO2)		278,7	268,9	259,3	259,3	282,6	210,5	235,7	nd
Emissions mondiales de CO2 du secteur aérien (en Mt)	718	712,7	702,9	693,3	693,3	716,6	644,5	669,7	686,4
Emissions mondiales de CO2 du secteur aérien (en % des émissions 1990)	157,3%	156,1%	154%	151,9%	151,9%	155,0%	141,4%	146,7%	150,3% (146,3% dans Anx B)
Réduction de la croissance des émissions du secteur aérien par rapport au BAU (1990-2010)	0	2,0%	5,8%	9,4%	9,4%	4,0%	27,7%	18,5%	12,2% (19,5% dans Anx B)
<i>Répartition de la réduction des émissions</i>									
Réduction de la demande de transport aérien		71%	70%	69%	69%	70%	37%	42%	
Progrès technologique		29%	30%	31%	31%	30%	63%	58%	
Variation de la demande de transport aérien (en RTK, milliard)	780	-0,5%	-1,5%	-2,5%	-2,5%	-1,1%	-3,7%	-2,8%	-3,3%
Variation des résultats opérationnels des compagnies (en Md de \$)	12,5	0,1	0,0	0,0	10,8	0,2	-1,2	-0,6	-0,3
Variation du surplus des consommateurs (en Md de \$)	0	-3,4	-10,2	-16,8	-16,8	-7,1	-25,7	-19,0	-21,1

- Toutes les simulations réalisées sur la base de cette hypothèse d'allocation initiale gratuite des permis considèrent que la valeur des permis alloués doit être incluse, au prix de marché, dans les charges opérationnelles des compagnies aériennes. Les auteurs en arrivent à cette conclusion car ils estiment que, si les compagnies agissent rationnellement et maximisent leur profit, les compagnies ne devraient pas attribuer de quotas à des routes qui ne seraient pas rentables si elles devaient payer les permis qu'elles utilisent. Seules les routes qui restent rentables après avoir payé le coût total des permis devraient se voir affecter des permis. Cette hypothèse revient à considérer que **les quotas ont un coût d'opportunité qui doit être entièrement intégrée dans les charges opérationnelles de la compagnie.**
- La manne issue de la valorisation des permis alloués gratuitement à leur prix de marché (*windfall*) peut être utilisée de deux façons :
 - Les compagnies conservent cette manne pour elles-mêmes ; la manne accroît les profits annuels des compagnies (scénario A – OT2_1025g) ;

- Les compagnies utilisent les permis sans en réaliser la véritable valeur économique : ceci a pour effet de réduire le coût moyen des permis nécessaires pour tout le trafic de la compagnie (scénario B – OT2 – 1025gf).
- **Marché mondial de permis avec vente aux enchères des quotas** (objectif de réduction T2 et prix des permis de 25 \$) **associé à des engagements volontaires des compagnies** selon deux options :
 - Mise à la casse des avions de plus de 25 ans (scénario OT2_1025as25)
 - Mise à la casse des avions de plus de 30 ans (scénario OT2_1025as30)
- **Marché régional ouvert** incluant toutes les activités génératrices d'émissions de CO₂ au sein des pays de l'Annexe B ; pour atteindre un des trois objectifs de réduction au niveau régional, le prix des permis devrait être plus élevé que dans le cas d'un marché mondial, c'est pourquoi la simulation prend 45\$ comme prix des permis ; sont inclus dans le marché tous les vols au départ des pays de l'Annexe B ; les permis sont vendus aux enchères (scénario OT2_1045aG2AnxB) ;

Tableau 3 : impact du marché de permis

	Scénario BAU	OT2_10 05a	OT2_10 15a	OT2_10 25a	A- OT2_102 5g	B – OT2 – 1025gf	OT2_10 25as25	OT2_10 25as30	OT2_10 45aG2 AnxB
Emissions mondiales de CO ₂ (en Mt) du secteur aérien	718	712,7	702,9	693,3	693,3	716,6	644,5	669,7	686,4
Emissions mondiales de CO ₂ en % des émissions de 1990	157,3%	156,1%	154%	151,9%	151,9%	155,0%	141,4%	146,7%	150,3% (146,3% dans Anx B)
Réduction de la croissance des émissions entre 1990 et 2010 par rapport au BAU	0	2,0%	5,8%	9,4%	9,4%	4,0%	27,7%	18,5%	12,2% (19,5% dans Anx B)
<i>Répartition de la réduction des émissions</i>									
Réduction de la demande de transport aérien		71%	70%	69%	69%	70%	37%	42%	
Progrès technologique		29%	30%	31%	31%	30%	63%	58%	
Variation de la demande de transport aérien (en RTK, milliard)	780	-0,5%	-1,5%	-2,5%	-2,5%	-1,1%	-3,7%	-2,8%	-3,3%
Variation des résultats opérationnels des compagnies (en Md de \$)	12,5	0,1	0,0	0,0	10,8	0,2	-1,2	-0,6	-0,3
Variation du surplus des consommateurs (en Md de \$)	0	-3,4	-10,2	-16,8	-16,8	-7,1	-25,7	-19,0	-21,1

Annexe 15. Simulation 2020

L'objectif de cette simulation est de montrer quel résultat pourrait être atteint en mettant en œuvre l'ensemble des recommandations de ce rapport.

On s'est placé dans la situation où seule l'Europe aurait mis en place un marché de permis (pour les vols intra européens) raccordé au marché existant dans l'industrie.

En revanche, le reste du monde bénéficie des avancées technologiques et dans une moindre proportion du développement de la filière bio kérosène.

L'année 2020 a été retenue parce qu'elle est suffisamment éloignée pour que la plupart des mesures aient déjà porté leurs fruits. C'est aussi l'horizon retenu par les auteurs du programme ACARE.

Progrès technologiques des avions

Les améliorations technologiques des avions envisagées pourraient conduire (cf. proposition ACARE) à un progrès d'efficacité énergétique des avions neufs de 2% par an, soit un rythme double de celui considéré dans les projections FESG. Le gain supplémentaire de 1% par an, soit 20% cumulés en 2020 ne saurait s'appliquer à la totalité des flottes même si l'on a constaté dans le passé un parallélisme entre l'évolution des performances des flottes et des nouveaux modèles d'avion. Mais ceci ne peut être admis dans un contexte d'accélération du progrès technique. Prudemment, nous avons retenu simplement un gain supplémentaire de 10% (soit la moitié du progrès additionnel attendu).

Progrès de la navigation aérienne

En ce qui concerne l'amélioration de l'ATM nous avons retenu l'hypothèse prudente de 5% limitée à l'Europe et aux Etats-Unis.

Introduction de biocarburants

A l'horizon 2020, on peut estimer que la fabrication de kérosène à partir de la biomasse sera maîtrisée. L'hypothèse d'un prix de baril de brut à 50\$ (ou 50€ en supposant une parité des deux monnaies) n'est pas invraisemblable.

Dans ces conditions, le surcoût d'un kérosène issu de la biomasse pourrait être, dans un scénario optimiste, assez faible et correspondre par exemple à la valeur retenue pour la tonne de CO₂ (25€).

Dans l'hypothèse où nous nous plaçons d'une obligation d'incorporer un certain pourcentage de bio-kérosène dans le carburant avion par exemple, par une directive européenne, c'est tout le carburant chargé en Europe, y compris celui pour les vols entre l'Europe et les autres continents qui serait concerné. L'économie en CO₂ s'en trouve majorée (par rapport à une application au seul trafic intraeuropéen).

Sortie du marché des appareils les plus anciens

La sortie du marché des appareils les plus anciens aurait peu d'incidence en Europe qui possède une flotte jeune, mais serait sensible ailleurs dans le monde. Si elle est obtenue par un mécanisme de développement propre, elle viendrait en alternative aux achats de permis aux autres secteurs et les économies de CO₂ (pour l'Europe) ne peuvent être cumulées. Mais elle pourrait être évidemment aussi obtenue par une mesure réglementaire (qui paraît peu probable sur le plan de son acceptabilité politique).

Impact d'un marché de permis

L'impact du marché des permis est surtout extérieur au secteur : il résulte, selon les modèles AERO, pour 90% d'achats de permis à d'autres secteurs (ou de mécanisme de développement propre) et pour 10% seulement d'achats internes au secteur du transport aérien, dont 3% seraient dus à l'impact de l'amélioration technologique des flottes (représentant seulement 1 Mt CO₂ sur les 7 Mt résultant de la mise en œuvre du programme issu d'ACARE)

En ce qui concerne l'impact des permis d'émissions, cet exercice s'appuie sur les résultats de la modélisation AERO dont l'horizon est 2010 (avec une référence 98). Ceux-ci ont donc été extrapolés en faisant un simple prorata par rapport aux émissions CO₂ de référence (BAU), déduction faite de l'impact des autres mesures.

S'agissant de l'intégration du transport aérien (intra européen) dans le marché des permis, il faut remarquer que le modèle AERO n'est pas un modèle d'équilibre général et que le prix du permis est une donnée exogène et n'est pas calculé par le modèle. On a fait l'hypothèse que d'ici 2020 les économies les plus faciles et les moins coûteuses auront été faites et que le prix de la tonne de CO₂ (aujourd'hui 8€) s'élèverait pour atteindre 25€ pour penser atteindre l'objectif du scénario T2 de l'étude AERO (émission 2010 équivalente à 95% des émissions 1990).

*

* *

Cette simulation (qui n'est pas une prévision) montre qu'il serait possible de ramener, avec les hypothèses retenues, les émissions 2020 en Europe qui seraient à un niveau proche de celles de 2000 pour ce qui concerne les émissions (propres au secteur) avec un impact limité sur les opérateurs et à un niveau sensiblement inférieur à celui de 1990 si l'on tient compte des achats de permis aux autres secteurs.

La réduction de l'effet radiatif par l'amélioration de la composition du kérosène qui n'a pu être chiffrée mais elle pourrait être d'un effet significatif (s'ajoutant aux économies de CO₂) en ce qui concerne l'impact sur le climat.

L'impact de ces politiques est évidemment moins sensible au niveau mondial. L'intégration de l'aviation civile dans un marché de permis couvrant l'ensemble des pays de l'annexe B accroîtrait très sensiblement cet impact.

SIMULATION 2020

		Emissions Intraeuropéennes	Impact pour le secteur en Europe	Impact sur les émissions mondiales
Emissions (Mt CO ₂)				
	1990	32		450
	2000	42		550
“Business a usual”	2010	55		719
	2020	71		1 000
Améliorations technologiques				
	1% → 2%/an sur nouveaux avions	-7	?	-100
	ATM (5% en Europe et aux USA)	-3		-14
	Effet du marché de permis portant sur les émissions des vols intraeuropéens (à 25 €/t CO ₂)	-2	- 2,5% PKT	-2 ⁽²⁾
	Reste	59		884
	Incorporation du kérosène issu de la Biomasse (5% Monde 10% Europe)	-12	- 300 M€/an (soit 0,5% des coûts d’exploitation de 2020 ⁽¹⁾)	44
		47		840
	Sortie du marché de 50 % des avions de +de 30 ans	-1	?	-20
	Total des émissions brutes de CO ₂	46		820
Facteur d’évolution	2020 /2000	x 1,09		x 1,49
	2020/1990	x 1,44		x 1,82
	Achat de permis aux autres secteurs économiques (25€/t)	-18	- 450 M€/an (soit 0,9% des coûts d’exploitation de 2020 ⁽¹⁾)	-18 ⁽²⁾
	Total des émissions <u>nettes</u> de CO ₂	28		800
Facteur d’évolution	2020/2000	x 0,67		x 1,45
	2020/1990	x 0,87		x 1,78
	Réduction de l’effet radiatif par amélioration du kérosène	?	ns	?

(1) estimée à 50 milliards d’€

(2) Si le marché de permis couvrait les pays de l’annexe B dont le trafic intérieur à cette sphère représente 50% des émissions mondiales, ces valeurs deviendraient -14 (au lieu de -2) et -150 (au lieu -18).