

A S S E M B L É E N A T I O N A L E

X I I I ^e L É G I S L A T U R E

Compte rendu

Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

- **Présentation** de l'étude de faisabilité par M. Roland Courteau sur « *Les perspectives de l'avion civile à l'horizon 2040* »

Mercredi
15 février 2012
Séance de 17 heures

Compte rendu n° 7

SESSION ORDINAIRE DE 2011-2012

**Présidence
de M. Bruno Sido,
sénateur,
*Président***



– Présentation de l'étude de faisabilité par M. Roland Courteau sur « Les perspectives de l'aviation civile à l'horizon 2040 » –

M. Bruno Sido, sénateur, président de l'OPECST. – Nous allons entendre l'étude de faisabilité de Roland Courteau sur la saisine du Bureau du Sénat concernant « les perspectives de l'aviation civile à l'horizon 2040 ».

Je souhaite souligner qu'il est réconfortant que l'Office puisse à nouveau se recentrer sur des problèmes scientifiques et technologiques qui intéressent de près notre avenir économique et industriel.

Geneviève Fioraso l'a fait avec son étude sur la biologie synthétique. Catherine Procaccia et moi-même poursuivront, début mars, en présentant notre étude de faisabilité sur « les enjeux et perspectives de la politique spatiale européenne ».

M. Roland Courteau, sénateur. – D'abord, quelques éléments sur l'évolution de l'aviation civile sur les 40 dernières années. L'aviation civile a conduit depuis quarante ans une révolution silencieuse qui en a profondément modifié les conditions d'activité. Cette évolution a reposé sur plusieurs facteurs.

L'augmentation du trafic : en 40 ans, le nombre de voyageurs a été multiplié par 10 et le fret aérien par 14.

La constance des progrès technologiques dans les domaines des architectures des matériaux et de la motorisation a permis des avancées importantes.

Tout d'abord, le trafic passager par avion a progressé :

- les capacités d'emport des avions longs courriers mais également courts et moyens courriers ont fortement augmenté ;
- les nouvelles technologies de l'information et la diversification des modèles économiques aidant, la croissance du taux de remplissage est passée de 55 % en 1970 à plus de 75 % en 2010,
- l'augmentation (depuis 1990) du nombre des heures de vols quotidiennes moyennes (de 8 heures 30 à 10 heures 30).

Ensuite, les avions sont devenus plus économes : depuis 1970, l'efficacité énergétique a été multipliée par 2, aussi bien pour les longs courriers que pour courts et moyens courriers. Pour ne donner qu'une illustration de cette amélioration, on rappellera qu'un Airbus 380 rempli à 80 % ne consomme que 3 litres /100 km par passager.

Les avions sont aussi devenus moins bruyants : la portée du bruit a aussi été réduite (de 13 miles carrés pour les B 727 des années 1970, au seul aéroport pour le futur B 787). Mais cette amélioration n'a pas été totalement perçue par les riverains des aéroports dans la mesure où elle a été « couverte » par la progression du trafic.

Enfin, les avions sont beaucoup plus sûrs : depuis 1986, mesurée à la fois par le nombre d'accidents et de décès de passagers, la sécurité du trafic a été multipliée par 5.

Ces progrès ont abouti à des gains de productivité conséquents. Depuis le début des années 70, le prix de l'unité de transport aérien (passager/km) a diminué de plus de 60 %. Cette baisse du prix du transport aérien a largement reposé sur la productivité du travail qui a progressé plus de 3 fois plus que les autres facteurs.

Mais le secteur aérien reste vulnérable. L'aviation civile repose sur une chaîne complexe d'intervenants (avionneurs, aéroports, navigation aérienne). Ce maillage de métiers et de compétences ne vaut qu'en fonction de sa destination dernière : le développement de l'activité de transport aérien.

Or, le transport aérien est une activité qui n'exige pas de savoir-faire particulier – et exclut donc que des positions technologiques dominantes permettent à des compagnies d'éroder l'émergence de la concurrence.

Ceci explique que les taux de marge du secteur soient assez faibles (1 % en moyenne).

Il faudra garder à l'esprit cette fragilité relative des grandes compagnies de pavillon lorsque l'on examinera les perspectives de l'aviation civile dans les 30 prochaines années, les défis auxquels elle sera confrontée et l'éventail des réponses qui pourront être proposées.

Quels sont les défis à venir, d'ici à 20 à 30 ans ?

L'horizon 2030-2040 prend toute son importance pour deux raisons.

D'une part, parce que c'est à cette date que l'on peut pointer l'émergence possible de difficultés à assurer la croissance du trafic, que celles-ci portent sur la consommation de carburant --- et donc sur l'émission de gaz à effet de serre (GES) ---, sur la saturation de la navigation aérienne, ou sur la difficulté d'étendre les capacités aéroportuaires à proximité des très grandes villes.

D'autre part, parce que les constantes de temps de développement d'un avion – sans rupture technologique marquée – sont de l'ordre de 10 à 15 ans et que les avions qui viennent d'être lancés, ou qui le seront d'ici 2015, arriveront à mi-vie.

Se posera alors, pour les avionneurs et leurs clients, le problème de savoir si les nouveaux modèles devront être étudiés sur la base de l'incrémentation habituelle ou en fonction des ruptures technologiques qui auront émergé d'ici là.

Mais, dès à présent, on peut affirmer que les perspectives d'évolution du trafic à cet horizon proposeront un triple défi scientifique et technologique aux avionneurs, à l'infrastructure aéroportuaire et aux autorités de navigation aérienne.

Quelles sont les perspectives d'évolution du trafic et quelles demandes en avions en résulteront ?

Le rapport d'Airbus Industries (Perspectives 2030) table sur un accroissement du taux de progression du trafic de passagers dans les vingt prochaines années (4,2 % de 1986 à

2010 – 4,8 % de 2010 à 2030), ce qui aboutirait à un triplement du nombre de passagers en 2030.

Cette croissance reposera principalement :

- sur une hausse du PIB mondial qui crée mécaniquement une hausse de la propension à voyager. Sur ces bases et à titre d'illustration, la croissance du PIB/habitant de la Chine de 5 000 \$ à 8 000 \$ impliquera 500 000 passagers annuels supplémentaires.

- sur la poursuite de l'urbanisation. Actuellement, plus de 50 % du trafic long courrier passe par les 39 grandes mégapoles qui enregistrent un trafic de plus de 10 000 passagers par jour et 42 % par les mégapoles qui ont un trafic un peu inférieur. Le développement de l'urbanisation (de 3,6 milliards d'urbains en 2010 à 5 milliards en 2030) va confirmer cette tendance. L'urbanisation va donc développer des nouvelles routes long courrier reliées à ces nouvelles conurbations.

Mais, le poids des liaisons courts et moyens courriers de chaque grande zone (Amérique du Nord, Amérique du Sud, Europe, Russie, Afrique, Asie) est appelé à rester prépondérant, 58 % du revenu par passager au kilomètre en 2010, 56,3 % en 2030, même si le centre de gravité de ce trafic se déplacera vers l'Asie dont les liaisons intérieures auront le même poids en 2030 que celles cumulées de l'Amérique du Nord et de l'Europe.

Dans ces conditions, le maintien de la prévalence du trafic des avions de taille moyenne explique assez largement les besoins de croissance du parc à l'horizon 2030.

Les avions monocouloirs (de 100 à 200 places) qui représentent aujourd'hui 78 % de la flotte, en représenteront encore 73 % en 2030.

D'ici 2030, un total de plus de 32 000 avions devraient être livrés, dont plus de 19 000 avions monocouloirs (type Airbus 320) et à peu près 9 000 avions à grand rayon, dont 1 331 très gros porteurs.

Mais la progression du trafic pose également un problème d'adaptation de modèles économiques des grandes compagnies face :

- aux compagnies à bas coûts ;
- et aux compagnies du type de celles du Golfe qui, sur la base de très gros porteurs, d'aéroports surdimensionnés et de très importantes distorsions de concurrence, s'efforcent de capter une part croissante du trafic entre l'Europe et l'Asie.

On estime ainsi qu'Emirates sera, en 2030, la première compagnie gros porteurs du monde.

Ces données économiques introduisent une triple exigence scientifique et technologique ; tout d'abord celle d'avions plus économes en carburant et en émission de gaz à effet de serre. Le prix du carburant est une variable directrice de l'évolution du secteur car il représente plus du quart du chiffre d'affaires des compagnies.

Or, au taux de progression prévisionnel estimé du trafic, la consommation du secteur pourrait doubler d'ici 2030, si rien n'était entrepris pour améliorer l'efficacité énergétique des avions.

Cet accroissement prévisionnel de la consommation de kérosène interviendra dans une période proche du pic pétrolier, au cours de laquelle on peut estimer que la raréfaction de la ressource aboutira à son renchérissement.

Ce qui revient à s'intéresser au cahier des charges des kérosènes alternatifs.

Le terme cahier des charges n'est pas abusif car ce carburant fait l'objet de normes très rigoureuses établies par l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) qui :

- d'une part, évoluent très peu ;
- d'autre part, impliquent une fongibilité totale d'éventuels carburants de substitution, ce qui exclut aussi bien la recherche d'économies fondées sur des percées technologiques dans la motorisation qu'une partie des carburants alternatifs (éthanol, biodiésel).

L'objectif de réduction d'émission de gaz à effet de serre deviendra une des contraintes du secteur.

Ces émissions ne représentent que 2 % des émissions mondiales. Mais au rythme de croissance du trafic leur importance relative est appelée à croître – naturellement s'il n'y a pas d'avancée technologique dans ce domaine.

Autre sujet, face à l'accroissement annoncé du trafic d'ici 2030, et au-delà, les capacités d'accueil des aéroports mondiaux seront-elles suffisantes ?

Sur ce point, les réponses sont différentes de zones à zones en fonction des espaces disponibles à proximité des grands centres urbains, des règles de régulation du trafic édictées au regard du degré de tolérance des riverains au bruit, ainsi que des règles juridiques de déploiement de ces investissements, et de leur mode de financement.

A l'échelon européen, il semble que les capacités des pistes et des aéroports permettront de faire face au ressaut de trafic attendu d'ici 2030.

Enfin, dernier défi, comment gérer la progression du trafic dans un espace aérien qui n'est pas illimité, surtout dans les phases d'approche ?

Le contrôle aérien, de route et d'approche est un des éléments essentiels de la chaîne de valeur de l'aviation civile.

C'est aussi un des domaines où l'on commence à constater des tensions d'usage de l'espace aérien.

Le rapport d'Eurocontrol sur les performances de la navigation aérienne concernant le contrôle de 9,5 millions de vols en 2010 montre que, d'une façon plus générale, l'année 2010 a été la pire année depuis 2001, en matière de ponctualité du trafic :

- le pourcentage de vols en retard de plus de 15 minutes au décollage et à l'atterrissage est passé de 18 à 25 % ;
- le pourcentage de vols arrivant moins de 15 minutes avant l'heure prévue est passé de 10 à 7 %.

Deux problèmes émergent donc :

- l'instrument actuel est-il capable d'assurer la croissance estimée du trafic à l'horizon 2030 et au-delà ?

- l'instrument actuel peut-il être perfectionné pour participer à l'effort d'économie d'énergie et de diminution de nuisances sonores qui sera demandé au secteur ?

Face à l'ensemble de ces défis, quelles pourraient être les réponses scientifiques et technologiques ?

Un point à noter. Il va de soi que l'absorption d'un fort ressaut de demande ne pourra se produire que si l'offre technologique progresse parallèlement et frontalement.

Car si un des segments du secteur ne progresse pas suffisamment, apparaîtront des goulets d'étranglement qui limiteront les possibilités d'augmentation de trafic.

D'ici 2030, les avancées scientifiques et technologiques s'appliqueront principalement à plusieurs domaines : la construction aéronautique, les biocarburants et la navigation aérienne.

Les progrès des technologies de construction aéronautique seront du même ordre que ceux enregistrés depuis quarante ans pour rendre les avions plus économes : l'aérodynamisme qui réduit les traînées et augmente la portance, et la motorisation qui réduit la consommation directe.

Mais comme un avion est un compromis délicat entre différents types de contraintes, ces technologies devront prendre en considération les conséquences de l'emploi de technologies transversales qui interviennent de plus en plus dans la conception et la construction des avions.

Même si les avions d'aujourd'hui ressemblent beaucoup à leurs prédécesseurs des années 70, des améliorations d'aérodynamisme ont été enregistrées.

Mais le modèle d'architecture vers lequel on a convergé (fuselage cylindrique, ailes basses, moteur situé sous la voilure, empennage de contrôle implanté à l'arrière de l'avion) a été favorisé par l'absence de contraintes sur les carburants.

Dans un contexte énergétique nouveau, d'autres solutions pourraient être explorées, pour autant que l'on admette une légère réduction de la vitesse :

- les voilures à angle d'implantation réduit sur le fuselage,
- et les voilures hautes haubannées.

L'amélioration de la motorisation a été l'élément principal (pour les trois cinquième environ) de la progression de l'efficacité énergétique des avions de ligne.

Des réserves de productivité des moteurs peuvent être recherchées par l'amélioration du circuit primaire de combustion. Ce que l'on ne sait pas, par exemple, c'est qu'une partie du kérosène sort de ce circuit sans avoir été brûlé.

Mais des voies toutes aussi prometteuses concernent le circuit secondaire, c'est-à-dire l'efficacité propulsive du turboréacteur.

La course au rendement énergétique a principalement reposé jusqu'ici sur l'accroissement de la taille des moteurs qui atteint aujourd'hui ses limites.

Les techniques dites de moteur à hélices rapides ou « *open motor* » (deux systèmes de pales tournant en sens inverse) permettent, en supprimant la nacelle, de repousser cette limite.

Mais ce type de solution qui pourrait produire des gains de consommation de l'ordre de 20 % ne sera pas mûr technologiquement avant 2020-2025.

Il pose, en outre, de sérieux problèmes du fait de la suppression de la nacelle de protection du moteur :

- des problèmes d'aérodynamisme,
- des problèmes de sûreté (que se passe-t-il si une des pales se brise et va heurter l'avion ?),
- des problèmes de fiabilité opérationnelle en configuration réelle de vol et durant toute la durée de vie de l'avion,
- et, surtout, des problèmes de bruits internes et externes à l'avion

Je ne ferai que mentionner les recherches sur la diminution du bruit – qui ne provient pas que du moteur mais résulte aussi du frottement de la voilure – et qui est un enjeu important dans l'acceptabilité sociale de la croissance du trafic.

Autre problème : la construction aéronautique utilise de plus en plus des technologies transversales, comme les nouveaux matériaux ou les techniques informatiques.

Source de progrès, elles peuvent être source de problèmes qui doivent être surmontés.

Par exemple, les matériaux composites en carbone qui sont de plus en plus employés introduisent des questions de fiabilité en situation anormale (aéroélasticité excessive, foudroiement, dégivrage), comme dans la durée (comme en témoigne les problèmes de fissures enregistrés récemment par Boeing).

Par ailleurs, dans un autre domaine, l'automatisation des procédures et les interfaces homme-machine, qui sont, sans nul doute, appelées à se développer, introduisent un problème d'une autre nature.

Sauf à admettre que l'ensemble des procédures de vol soient entièrement automatisées, sans aucun contrôle des pilotes, il devient nécessaire d'accorder une attention accrue à cette interface.

Pour ne pas alourdir mon propos, je n'aborderai le problème des kérosènes alternatifs qu'en soulignant que ces filières :

- ne sont pas encore mûres technologiquement,
- qu'elles posent des problèmes de ressources primaires et dans certains cas, de protection de la biodiversité,
- et que leur déploiement économique n'est assuré que sur la base d'un prix du pétrole très supérieur à 100 \$ le baril ou d'un prix de la tonne de CO2 beaucoup plus élevé qu'actuellement.

Enfin, le problème de la saturation des approches aériennes fait l'objet d'un programme d'étude européen (SESAR), qui a également son correspondant dans l'espace américain pour converger vers une interopérabilité mondiale.

Le concept de base est d'évoluer vers une connaissance en 4D (c'est-à-dire incluant le temps) et une amélioration du positionnement des avions.

Ce qui pourra permettre de les guider dès le départ en fonction de l'état du ciel au moment de leur approche finale.

Ce système très ambitieux devrait être déployé en Europe vers 2025 pour un coût de 30 milliards d'euros.

La mise en œuvre de ce concept va poser un double problème d'interface homme-machine :

- un problème traditionnel de vérification permanente de fiabilité ;
- un problème culturel de partage des rôles puisque le contrôle aérien jouera un rôle plus actif dans le système (en demandant aux avions d'accélérer ou de ralentir pour optimiser les trajectoires d'approche).

A ces problèmes, pourra être associé celui posé par la gestion des drones, dont l'émergence dans l'espace aérien est annoncée.

En outre, on doit relever deux impératifs de sécurisation du système :

- l'attribution d'un nombre de fréquences suffisant,
- et le problème émergent des débris spatiaux qui se multiplient et créent des risques croissants de collisions avec les satellites qui seront dédiés à cette action.

En conclusion, je vous confirme l'intérêt qu'il y a de poursuivre l'étude demandée par le Bureau du Sénat d'évaluer les réponses scientifiques et technologiques, qui pourrait être apportées aux nouveaux défis d'une activité qui est un de nos rares secteurs industriels d'excellence.

Dernière question : est-il nécessaire d'aller jusqu'à 2040 ou faut-il se borner aux perspectives d'évolution du secteur d'ici 2030 ?

J'estime qu'il faut maintenir la mention de l'horizon 2040 dans l'intitulé, ce qui peut permettre d'explorer les technologies de rupture qui pourraient se profiler d'ici une vingtaine d'années.

Il est donc proposé de poursuivre l'étude sous l'intitulé proposé par le Bureau du Sénat, auteur de la saisine, « les perspectives d'évolution de l'aviation civile à l'horizon 2040 ».

M. Bruno Sido, sénateur, président de l'OPECST. – Je remercie Roland Courteau de sa présentation très intéressante. J'ai une observation : il me semble important dans le cadre de cette étude de garder à l'esprit la fragilité économique du secteur.

M. Claude Birraux, député, premier Vice-Président. – Deux observations tout d'abord : l'horizon 2040 me paraît pertinent et les débris spatiaux évoqués par le rapporteur sont un sujet qui devrait être traité dans le cadre de l'étude de l'espace.

Je m'interroge également sur deux sujets :

- jusqu'où ira-t-on dans la diminution des tarifs sans altérer la sécurité ?
- le développement de l'automatisation s'accompagne-t-il d'un effort adapté de formation des pilotes, car celle-ci devient en ce cas de plus en plus critique .

M. Roland Courteau, sénateur. – J'étudierai très précisément cette question d'interface homme-machine dans la suite du rapport.

Mme Virginie Klès, sénatrice. – On m'a rapporté qu'un des problèmes actuels du contrôle aérien est la limite du nombre d'avions que chaque contrôleur peut prendre en charge.

M. Roland Courteau, sénateur. – C'est effectivement un problème mais la saturation du contrôle d'approche résulte aussi d'un encombrement du ciel. Le programme SESAR que j'ai évoqué devrait apporter une solution.

M. Jean-Marc Pastor, sénateur. – Y a-t-il de nouvelles sources d'énergie exploitables pour la propulsion aérienne ?

M. Roland Courteau, sénateur. – En l'état de mes investigations, il apparaît que les solutions qui se profilent ne sont pas mûres ni technologiquement, ni économiquement.

M. Bruno Sido, sénateur, président de l'OPECST. – Le CEA a l'intention de développer, en Haute Marne, une installation de fabrication de kérosène reposant sur la transformation de la biomasse par le procédé Fisher-Tropsch.

Avec la seule croissance annuelle de la forêt française, on pourrait produire du carburant couvrant la consommation d'Air France-KLM et l'ensemble du transport routier.

Les conclusions du rapporteur tendant à la poursuite de l'étude sous l'intitulé initial ont été approuvées à l'unanimité.