

Yves **Galland** avec Gil **Roy**

# Révolution aéronautique, le défi de l'environnement



 **BOEING**

PEARSON  
Village  
Mondial

# Révolution aéronautique, le défi de l'environnement



Yves Galland

avec Gil Roy

# Révolution aéronautique, le défi de l'environnement



Mise en pages : FAB Orléans

Copyright© 2009 Pearson Education France

Aucune représentation ou reproduction, même partielle, autre que celles prévues à l'article L. 122-5 2° et 3° a) du Code de la propriété intellectuelle ne peut être faite sans l'autorisation expresse de Pearson Education France ou, le cas échéant, sans le respect des modalités prévues à l'article L. 122-10 dudit code.

ISBN : 978-2-7440-4041-2

# Sommaire

<i>Introduction</i>	1
<b>1 État des lieux</b>	7
<b>2 Une industrie innovante par nature</b>	29
Une approche équilibrée de la lutte contre le bruit	33
Ce qu'il faut retenir de la lutte contre les nuisances sonores	47
Le progrès permanent	52
Des pistes d'optimisation	71
<b>3 Le saut technologique s'impose</b>	83
Défi énergétique : le carburant de demain	85
Une gestion différente du trafic aérien	96
Penser le cycle de vie	104
Révolution technologique	111
<i>Conclusion</i>	119
<i>Annexes</i>	123



## *Introduction*

---

Ce siècle a huit ans. L'explosion des prix du pétrole à laquelle nous sommes confrontés aujourd'hui va au-delà du seul défi énergétique. Il s'agit d'un véritable enjeu de civilisation aggravé par des décennies de confort et d'inertie. Comment penser autrement quand nous savons – c'est un exemple parmi d'autres – que les premières voitures électriques ont existé dès avant la deuxième guerre mondiale et que nous constatons que les applications industrielles sont inexistantes soixante-dix ans après ?

Les raisons historiques d'une telle absence de progrès dans la technologie des batteries électriques restent très surprenantes et interpellent. Mais désormais, il n'y a plus aucun doute sur l'arrivée prochaine des voitures électriques sur le marché. Tout simplement parce que l'urgence commande et impose une telle évolution.

Le constat est simple : tout doit être fait pour permettre l'émergence d'énergies renouvelables protégeant notre environnement et offrant une alternative au pétrole. Encore faut-il que ces nouvelles énergies représentent une équation économique raisonnable. Car ce débat passionnant ne peut

être caricatural ou simplificateur. Le passé récent doit être, à cet égard, révélateur.

L'énergie civile nucléaire a été vouée aux gémonies par un courant d'opinion dévastateur dans les années 1980. Aujourd'hui, certains pays regrettent amèrement la décision d'avoir abandonné l'électronucléaire sous la pression de lobbies écologistes très organisés. D'autres, comme l'Italie, remettent en question cet abandon.

À partir de la biomasse, la production d'éthanol a été le cheval de bataille des bien-pensants convaincus que, par ce biais, la planète serait sauvagée. Jusqu'à une époque récente, les biocarburants ont fait figure de solution miracle. Ils nous ont été imposés comme le moyen de réduire la dépendance aux énergies fossiles et de lutter contre le réchauffement climatique. Un terrorisme de la pensée environnementale a régné, clouant au pilori toute opinion différente, qualifiée d'irresponsable, voire de criminelle.

Et pourtant, les évidences d'hier sont mises à mal aujourd'hui. Les biocarburants participent à l'évidence à l'emballement des prix agricoles dans un marché dont les cours mondiaux ont soudainement explosé. Face à la hausse dramatique des cours du blé, du maïs, du colza et du soja, due à une production désormais clairement insuffisante, il devient impensable d'utiliser les terres arables à d'autres fins que celle d'alimenter les populations du globe.

Le drame de la faim dans le monde s'impose désormais comme une évidence et dans ce contexte nouveau, le carburant vert agricole classique n'est plus moralement défendable. Le Brésil, qui était la référence mondiale, devient un contre-exemple.

C'est avec ces nouvelles réalités mondiales que doit agir la filière aéronautique pour rester une industrie responsable et exemplaire. Le transport aérien n'a plus rien à voir avec ce qu'il était lors de l'émergence de l'avion à réaction et de la démocratisation du transport qui s'ensuivit. Ce qui a été fait est remarquable. C'est pourquoi le transport aérien ne

contribue actuellement qu'à hauteur de 2 % des émissions de CO<sub>2</sub> liées aux activités humaines. Mais face à une demande forte due à l'évolution des modes de vie et à la mondialisation tant des déplacements professionnels que touristiques, la flotte d'avions en activité va doubler dans les vingt ans à venir.

Naturellement, cette prévision a été fortement remise en question dans les innombrables analyses pessimistes qui ont commenté la crise pétrolière de l'été 2008 avec un baril à 150 dollars. À court terme, l'envolée du prix du pétrole entraîne des pertes considérables pour les compagnies aériennes (supérieures à 6 milliards de dollars pour 2008 selon IATA), une diminution drastique du nombre de lignes exploitées par ces mêmes compagnies et des centaines d'appareils cloués temporairement au sol et retirés définitivement de l'exploitation (surtout aux États-Unis).

Il n'empêche que, globalement, Boeing maintient sa prévision du doublement de la flotte en vingt ans. Il apparaît en effet que les contraintes d'exploitation liées au pétrole seront compensées largement par les gisements d'économie provenant des nouvelles technologies et des restructurations de la filière aéronautique. Dans cette logique, la demande, soutenue par un prix de billet d'avion restant compétitif et raisonnable, demeurera forte. Elle constitue naturellement le vecteur de base de la dynamique confirmée du transport aérien.

Le chantier est gigantesque pour imaginer et construire des avions du futur, moins polluants et volant dans des conditions respectueuses de l'environnement et des riverains des zones aéroportuaires.

C'est dans cet esprit qu'en décembre 2007, Boeing France a organisé un symposium sur le thème « Transport aérien : le challenge de l'environnement ». Il a réuni les meilleurs experts français et internationaux sur le sujet. L'idée de ce livre est venue des débats et des perspectives ouverts par cette passionnante journée d'information et d'échanges.

Car il est clair que face à la problématique environnementale et aux pollutions engendrées par les différents modes de transport, l'aviation civile suscite et subit des attaques répétées, excessives, injustes et souvent infondées. Cette industrie est largement responsable de cet état de fait, n'ayant pas su s'adapter à un débat médiatique vicié. En laissant des idées reçues et de nombreux préjugés s'installer dans l'esprit des politiques, écologistes et autres experts, elle n'a pas su non plus accélérer et expliquer sa stratégie.

Le temps est désormais compté. C'est un temps qui redonne à l'Union européenne un nouveau leadership. À l'heure où les citoyens prennent de plus en plus conscience des problèmes environnementaux, la Commission européenne estime avoir une responsabilité historique. C'est aussi une occasion unique et inespérée de souder les Européens et les Américains autour d'un objectif fédérateur. Encore faut-il échapper aux tentations extrêmes ou démagogiques qui peuvent être à l'origine de décisions inadaptées et à terme désastreuses.

C'est aussi la modeste ambition de ce livre que d'adresser aux décideurs analyses et messages pour faciliter – à l'écart de tout intérêt corporatif – les bons choix et la définition des priorités. Ce travail vise aussi à apporter des éléments concrets de réflexion pour faciliter la réalisation des grands projets européens, notamment. Cela concerne en particulier Sesar (Single European Sky Air Traffic Management and Research). Ce programme est destiné à assurer une plus grande efficacité dans la gestion de la sécurité des vols, tout en permettant de minimiser l'impact du transport aérien sur l'environnement. Encore faut-il que la volonté et le courage politiques que Sesar implique soient partagés. Ce projet autant ambitieux que vital bouscule les situations établies. Il impose une remise en cause des excès des couloirs militaires aériens protégés. Il conduit à affronter les résistances d'organisations syndicales et professionnelles pour réorganiser en profondeur le contrôle aérien.

Nous devons également être conscients que Sesar n'existera que si un financement adéquat lui est octroyé.

La conception et la fabrication des nouveaux avions de demain, merveilles technologiques comme le 787, permettront également une baisse substantielle de consommation de carburant. Cette nouvelle génération d'appareils sera moins polluante et plus respectueuse de l'environnement. Mais pour tirer pleinement parti des progrès, encore faut-il que leurs capacités soient optimisées par des procédures d'approche, d'atterrissage, de roulage et de décollage adaptées à ce que peut désormais permettre la mise en œuvre de la gestion de l'espace aérien.

Naturellement, de nombreuses questions fondamentales restent posées et doivent être résolues à l'avenir. Nous n'en citerons que deux à titre d'exemple.

À court terme, un arbitrage des divergences sera indispensable afin que les futurs moteurs apportent des avancées parallèles tant sur le plan du bruit que sur celui de la consommation. Il faut savoir, en effet, que jusqu'à présent, les progrès de l'un de ces deux paramètres s'effectuent au détriment de l'autre. Il s'agit là d'un enjeu essentiel auquel les motoristes travaillent à marche forcée.

À plus long terme, il faut repenser l'avion. C'est dans cette perspective qu'actuellement Boeing Phantom Works teste le concept révolutionnaire d'aile volante qui joue la continuité entre la cellule et les ailes. D'autres recherches portent sur la pile à combustible avec un moteur électrique rechargé en vol. Car la plus grande contribution de Boeing pour l'environnement passe par l'innovation et la recherche de nouvelles technologies.

Quant aux carburants du futur, les chercheurs devront orienter leurs travaux dans de nouvelles directions pour relever les défis technologiques. Il est urgent de rendre les terres agraires à la production de denrées alimentaires et d'expérimenter de nouvelles sources naturelles comme les algues ou le jatropha, cette plante du désert au potentiel

remarquable. Des expérimentations sont réalisées en étroite collaboration entre Boeing et des compagnies aériennes. Ce livre a pour ambition aussi de les mettre en lumière et d'en présenter les perspectives porteuses qui doivent être approfondies.

La plus grande contribution de Boeing passera par l'innovation et la recherche de nouvelles technologies. Il en est de même pour Airbus. Louis Gallois, le président d'EADS, partage à cet égard la même analyse et une volonté identique à celle de Jim McNerney, le président de Boeing. Nous sommes heureusement tous convaincus que l'industrie aéronautique ne sera remarquable que si elle répond aux impératifs du monde d'aujourd'hui tout en travaillant sur les révolutions de demain qui permettront à nos enfants à la fois de continuer à voyager librement et de préserver leur qualité de vie.

# Chapitre

---

## État des lieux

Le climat se réchauffe. Imperceptiblement. De quelques dixièmes de degré seulement, mais suffisamment pour remettre en question l'équilibre subtil sur lequel repose la vie sur Terre. La communauté scientifique affirme que si rien n'est fait rapidement, le phénomène pourrait s'amplifier et devenir irréversible. Dans les pays développés, le réchauffement climatique et ses conséquences sont devenus pour beaucoup une préoccupation majeure. Pour le transport aérien et d'une manière plus générale pour l'industrie aéronautique dans son ensemble, la prise en compte de cette évolution est un enjeu d'avenir. En effet, l'avion contribue à ce réchauffement...

### Prise de conscience environnementale

La prise de conscience du danger que comporte en elle cette évolution est relativement récente. Elle date de 1992 et du sommet de la Terre de Rio de Janeiro. Le signal d'alarme

avait pourtant déjà été tiré, à Stockholm en 1972, vingt ans plus tôt, lors de la conférence des Nations unies sur l'environnement. C'était la première fois de l'histoire que la communauté internationale se réunissait ainsi pour faire le point sur l'environnement mondial et les impératifs du développement. Mais cette mise en garde avait été sans écho véritable dans l'opinion publique qui, à l'époque, n'était encore que très marginalement sensibilisée aux questions environnementales. On parlait alors d'« écologie », pas encore de « développement durable ». L'impact du sommet de Rio sera beaucoup plus retentissant.

Au début des années 1990, les causes du réchauffement de la planète sont globalement identifiées : elles sont directement liées à l'emballement de l'activité humaine, génératrice des gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote, chlorofluorocarbones, etc.). Et surtout, les conséquences commencent à être mieux cernées, d'autant qu'elles sont perceptibles par chacun. La fréquence des fortes précipitations augmente. Les sécheresses sont plus sévères et sur une plus longue étendue. Les glaciers fondent à vue d'œil. L'activité des cyclones tropicaux s'intensifie dans l'Atlantique nord. Le climat change. Ce n'est plus une menace, mais un fait incontestable, malgré les affirmations de ceux qui assurent que le dérèglement climatique n'est qu'un phénomène cyclique et que l'humanité a déjà connu des situations comparables dans le passé. L'emballement des activités humaines est mis en cause d'une manière globale. Dans ces années 1990, l'avion n'est pas encore pointé du doigt.

Entre-temps, la notion de développement durable est apparue et avec elle la responsabilité collective et individuelle vis-à-vis des générations futures. Les consciences s'éveillent. Dans les pays industrialisés, de plus en plus de personnes sont convaincues que pour que la croissance ait un sens, elle doit répondre aux besoins des générations du présent, sans compromettre la capacité des générations

futures à répondre à leurs propres besoins de développement. Il est urgent de mettre fin au gaspillage des ressources naturelles et au saccage écologique de la planète. Chacun de nous en sera comptable devant ses enfants et ses petits-enfants. Quelle Terre voulons-nous leur laisser ?

## De Rio à Kyoto, du global au particulier

Les pays les plus industrialisés, qui regroupent à peine 20 % de la population de la planète, émettent 60 % des gaz à effet de serre. À Rio, ces gros pollueurs, qui sont aussi ceux qui peuvent le plus facilement modérer leur croissance, s'engagent librement à stabiliser, en 2000, leurs émissions au niveau de 1990. Cet engagement quantitatif est juridiquement verrouillé, cinq ans plus tard, par le protocole de Kyoto signé, en décembre 1997, par environ 180 pays. Trente-huit d'entre eux, parmi les plus riches, s'obligent à abaisser leurs émissions de gaz à effet de serre entre 2008 et 2012 à des niveaux inférieurs de 5,2 % à ceux de 1990.

Ces objectifs sont ambitieux. Ils remettent profondément en question les conditions de production. Pour faciliter leur réalisation par les pays développés, des mécanismes de flexibilité sont proposés. Le premier est « le permis d'émission négociable » (PEN), immédiatement rebaptisé par ses détracteurs « permis de polluer ». Il autorise à vendre ou à acheter des droits à émettre entre pays industrialisés. Le deuxième est « la mise en œuvre conjointe » (MOC) qui permet à un pays développé de procéder à des investissements dans un pays en transition vers une économie de marché. Ces investissements visent à réduire les émissions de gaz à effet de serre en dehors de son territoire national et à bénéficier des crédits d'émissions générés par les réductions ainsi obtenues. Ces projets de développement sont pris en compte dans les quotas des pays

développés. C'est là leur intérêt. Le troisième est « le mécanisme de développement propre » (MDP). Il s'apparente au MOC, à la différence que les investissements sont effectués par un pays développé dans un pays en voie de développement. En contrepartie, l'État investisseur reçoit des crédits d'émissions qu'il peut vendre ou déduire de ses propres quotas. Le transport aérien n'est pas encore concerné par ce traité.

### Le choc des images

Malgré ces aménagements, les États-Unis refusent de signer le protocole de Kyoto. Le plus gros émetteur de gaz à effet de serre de la Terre, avec 30 à 35 % du total mondial, ne veut pas entraver sa croissance. L'élan environnementaliste n'est pas brisé pour autant, au contraire ; la formidable médiatisation du problème transcende les positions nationales.

Les grandes conférences internationales qui se sont succédé depuis les années 1990 ont contribué à l'éveil de la conscience des habitants des pays industrialisés. Mais ce sont véritablement les images de cette vague géante submergeant les côtes de Sumatra et de Thaïlande, à Noël 2004, et quelques mois plus tard les reportages sur la Nouvelle-Orléans sous les eaux, après le passage de l'ouragan Katrina, qui font véritablement basculer les opinions publiques dans le camp des défenseurs de la planète. Le mouvement devient irréversible.

Personne n'est plus à l'abri des conséquences du dérèglement climatique. Les catastrophes naturelles ne sont plus limitées aux seuls pays les plus défavorisés. La pression sur les gouvernants s'intensifie. Le réchauffement de la planète et son cortège de conséquences catastrophiques pour l'homme et son environnement sont désormais au cœur des préoccupations quotidiennes. Le prix Nobel de

la paix 2007 décerné conjointement à l'ex-vice-président américain Al Gore et aux experts du Giec (Groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) pour leur engagement contre le réchauffement de la Terre viendra renforcer le sentiment d'urgence à agir.

## L'éveil des opinions publiques

La conscience écologique est une réalité en Europe. Elle a commencé à se manifester dans les années 1970 dans des pays comme l'Allemagne d'abord, puis la France. Elle est devenue une force politique. Le développement durable est une valeur forte de la Communauté européenne. C'est une préoccupation qui est en train de gagner également les États-Unis d'Amérique.

L'éveil de l'opinion publique américaine passe par la Californie qui s'est engagée en faveur des énergies renouvelables. La Silicon Valley est sur le point de devenir la première région administrative aux États-Unis à mettre en place une taxe sur le droit à polluer. Elle pourrait être rejointe par d'autres régions à travers le pays. Un nouveau modèle de société pourrait se mettre en place dans la première puissance économique mondiale.

## Le transport aérien « oublié » de Kyoto

En 1997, à Kyoto, le transport, qui contribue pourtant à hauteur de 23 % du total des émissions de gaz à effet de serre, a délibérément été exclu des activités devant réduire leurs niveaux d'émissions. Les techniciens ont souhaité s'intéresser d'abord à des activités comme la production d'énergie, dont les répercussions sur l'environnement sont plus facile à cerner. Malgré cette réserve, l'impact des différentes composantes du transport est désormais connu.

Le Groupement intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (Giec), émanation de l'Organisation mondiale de la météorologie, a été mandaté pour l'évaluer. L'aviation entre pour 12 % dans la part des transports. À titre de comparaison, la route pèse pour 76 %. Le Giec estime que le transport aérien contribue à hauteur de 2 % du total des gaz à effet de serre liés aux activités humaines.

L'aéronautique n'a donc pas été oubliée à Kyoto, même si ce secteur peut apparaître comme un faible pollueur au regard des autres activités, notamment face à l'agriculture (19 %), la production d'énergie (13 %), l'habitat (19 %), l'industrie (20 %) et d'une manière plus globale, les transports (26 %). Toutefois, le rapport du Giec prévoit qu'à l'horizon 2050, les émissions de gaz à effet de serre liées au transport aérien devraient avoir doublé.

C'est la raison essentielle pour laquelle, en 2006, l'Union européenne qui est en pointe dans la lutte contre le réchauffement climatique décide d'intégrer l'avion au mécanisme d'échange des quotas d'émissions de CO<sub>2</sub> mis en place en janvier 2005 pour l'industrie et les activités énergétiques. Cette décision unilatérale est rejetée par les instances internationales qui régissent le transport aérien au niveau mondial et en particulier par l'Oaci (Organisation mondiale du transport aérien). Cette prise de position de l'Union européenne est d'autant plus mal perçue que les émissions de gaz à effet de serre de l'aviation européenne ne représentent que 0,5 % du total.

Quoi qu'il en soit, les Européens persistent et prévoient que l'intégration du transport aérien dans le commerce des émissions de CO<sub>2</sub> se fera en deux temps. Au début, seuls les vols intracommunautaires seront concernés, puis tous les vols au départ ou à destination d'un pays de l'Union. L'Oaci, qui regroupe 190 États, n'est pas favorable à ces mesures contraignantes. Dans une démarche plus libérale, l'agence des Nations Unies entend privilégier la recherche de solutions permettant d'optimiser la consommation de

kérosène génératrice de gaz à effet de serre. Elle ne veut pas pénaliser l'industrie au moment où elle va devoir investir de manière massive dans la recherche de technologies innovantes et alors que la hausse vertigineuse du prix du pétrole fragilise les compagnies aériennes.

Pour les Européens, l'instauration d'une nouvelle taxe sur les émissions de gaz à effet de serre est appréhendée aussi comme un aiguillon destiné à accélérer les initiatives de progrès. Pour l'Oaci, mais aussi pour les États-Unis d'Amérique, elle apparaît au contraire comme une attaque aux capacités financières d'innovation de l'industrie. Deux philosophies s'opposent donc dans un débat arbitré par des opinions publiques de plus en plus pressantes.

## Un ciel pur autant que sûr

Face à la poussée de la conscience environnementale, le transport aérien n'a pas le choix. Il doit à la fois réduire son empreinte environnementale dès à présent et mobiliser la recherche afin que l'impact des avions de demain soit quasiment nul. C'est un défi sans précédent que l'industrie aéronautique dans son ensemble doit relever.

La barre est placée très haut, mais elle n'est pas inaccessible. Le transport aérien a déjà démontré sa capacité à remporter un challenge au moins aussi ambitieux : celui de la sécurité.

En 2007, onze accidents ont été répertoriés. Ils ont causé la mort de 587 passagers. Cela rapporté aux 2,2 milliards de personnes transportées sur des vols réguliers fait un taux de 0,014 mort par 100 millions de passagers transportés. L'avion est devenu l'un des moyens de transport les plus sûrs au monde, au prix d'une implication de tous les acteurs, du constructeur à l'exploitant, qui ont refusé la fatalité et qui se remettent en question continuellement.

La sécurité est l'affaire de tous. De celui qui conçoit l'avion et le construit. De celui qui établit les procédures d'utilisation. De celui qui est chargé de les mettre en œuvre. De celui qui entretient les flottes. De celui qui gère l'espace aérien. De celui qui contrôle le fonctionnement du système. De celui qui analyse les dysfonctionnements. Elle est l'affaire du secteur privé autant que des instances publiques. La sécurité est un problème global qui se traite à l'échelle mondiale, par-dessus les frontières régionales et nationales.

Pour se maintenir à un niveau acceptable, la sécurité doit progresser tous les jours, à chaque vol. Face au défi environnemental, l'industrie aéronautique n'a pas d'autre choix que de mobiliser les mêmes moyens. Dès lors, l'objectif des compagnies aériennes regroupées au sein de Iata, l'association internationale qui regroupe 240 compagnies opérant sur 94 % des lignes régulières à travers le monde, de réduire à 0 g les émissions de CO<sub>2</sub> en 2050, n'apparaît plus comme une gageure. « Zéro gramme de CO<sub>2</sub> » comme « zéro mort ». L'un comme l'autre, ces objectifs constituent un passage obligé pour permettre au transport aérien de continuer à se développer afin de répondre aux besoins croissants du marché.

Les organisations du transport aérien et les entreprises du secteur se sont regroupées au sein d'Atag (Air Transport Action Group) pour unir leurs efforts. En Europe, le Conseil consultatif pour la recherche aéronautique, Acares (Advisory Council for Aerospace Research in Europe), mis en place en 2001, a posé également le cadre. Il a fixé un triple objectif environnemental à l'industrie aéronautique. À l'horizon 2020, la future génération d'avions devra émettre 50 % de dioxyde de carbone en moins que la moyenne des avions de 2000, 80 % d'oxydes d'azote en moins et générer 50 % de nuisances sonores en moins. Des objectifs d'autant plus ambitieux que dans le même temps, la flotte mondiale aura quasiment doublé.

Ce défi n'est pas seulement celui de l'industrie aéronautique, il est aussi celui de l'économie mondiale. Il ne s'agit pas de rogner les ailes de l'avion au risque de couper celles de la croissance...

## L'avion, un vecteur indispensable à la croissance mondiale

Depuis 2004, la croissance moyenne de l'économie mondiale se situe à 3,6 % et elle est appelée à poursuivre sur la même pente, au moins jusqu'à la fin de la décennie. Du fait de sa globalisation, cette croissance mondiale est plus diverse et moins sensible aux performances des seuls États-Unis, comme elle l'a été jusque dans un passé récent. La situation présente illustre cette évolution : l'atonie actuelle de l'économie américaine est largement compensée par la bonne santé de l'économie de l'Union européenne et surtout le formidable dynamisme de l'Asie et des pays émergents. En revanche, la croissance de l'économie mondiale apparaît plus que jamais étroitement liée aux performances du transport aérien qui permet ces échanges. Mais l'inverse est vrai aussi !

La croissance soutenue de l'économie, conjuguée à la montée du libéralisme économique et à la forte concurrence des marchés, soutient le développement du trafic aérien. Celui-ci apparaît, en effet, systématiquement plus rapide dans les économies à forte croissance. Depuis la dernière crise du début des années 2000, les compagnies aériennes font face à une demande qui surpasse leur offre en termes de capacité.

En 2007, les compagnies aériennes de la planète ont transporté 2,2 milliards de personnes, soit une progression de 7,4 % sur un an. Elles ont traité 40 millions de tonnes de fret (+ 4,3 %), ce qui en valeur représente 35 % des marchandises échangées au niveau mondial. Ces transporteurs

ne créent pas le marché. Ils répondent à un besoin de déplacement et facilitent les échanges.

Au final, la croissance du transport aérien, qui se situe en moyenne entre 5 et 6 % par an, est sensiblement supérieure à la croissance mondiale qui, rappelons-le, est d'environ 3,6 %. Les deux paraissent interdépendantes. Les ralentissements conjoncturels, comme celui du début des années 2000, ne remettent pas en cause les prévisions de trafic à vingt ans. La pente est régulière.

Si les affaires demeurent la principale motivation des voyages aériens, le tourisme est devenu le deuxième motif de déplacement. Le transport aérien est en effet un acteur majeur de l'industrie touristique mondiale. Il contribue au développement économique et social de régions du monde pour lesquelles le tourisme est la seule ressource. Les voyageurs aériens génèrent 6,7 millions d'emplois directs dans le monde.

Il est évident que l'aviation n'est pas seulement un acteur majeur de l'économie planétaire, elle est aussi et surtout un facteur de croissance. L'avion n'est pas une fin en soi, mais un moyen. Le défi à court terme est de permettre la prospérité de l'économie mondiale en assurant les bases de la croissance du secteur aéronautique de manière responsable en réduisant son impact sur l'écosystème.

Aujourd'hui, la mondialisation des échanges impose une mobilité totale des individus et des marchandises. Elle offre aux pays en voie de développement un accès aux marchés porteurs des pays industrialisés. Elle est en cela un élément de stabilité.

La croissance de l'économie mondiale est liée à l'aspiration des populations de la Terre à de meilleures conditions d'existence. Face à la demande croissante de déplacement de ces populations et des marchandises, l'avion apparaît le moyen le plus flexible. La route, le rail ou la mer sont évidemment des composantes essentielles des infrastructures

des économies en croissance, mais ils nécessitent des investissements lourds, essentiellement de la part des États. Ces moyens de transport sont également limités, dans la mesure où ils ne peuvent pas répondre aux besoins de déplacement rapide sur de grandes distances et à travers des zones inhospitalières. Ils ne sont donc pas concurrents de l'avion à ce niveau. L'avion est certes indispensable, mais à quoi servirait-il sur une planète devenue hostile à cause des caprices de son climat ?

La prise de conscience arrive à un moment charnière. Il est encore temps de faire machine arrière pour s'engager dans une autre direction. Mais il faut faire vite et modifier sans délais nos habitudes et nos façons de faire. Consciente de l'enjeu, l'industrie aéronautique a choisi librement d'assumer ses responsabilités vis-à-vis de la planète.

## La transformation des gaz à effet de serre

Selon les experts du Giec, le Groupe intergouvernemental d'experts sur le climat mis en place par l'organisation météorologique mondiale à la demande du G7, le transport aérien est à l'origine de l'émission dans l'atmosphère de 700 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> en 2007 (2 % du total des émissions de dioxyde de carbone liées aux activités humaines).

En fait, plusieurs substances polluantes entrant en ligne de compte dans le phénomène d'effet de serre sont émises par les avions. Outre le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), il s'agit de vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O), de méthane (CH<sub>4</sub>), d'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) et des dioxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). Ces derniers favorisent, d'une part, la création d'ozone troposphérique qui contribue à l'effet de serre, d'autre part, la destruction du méthane, gaz favorable également à l'effet de serre. Le bilan de ces deux phénomènes antagonistes du point de vue de l'effet de serre n'est pas évalué encore avec précision.

L'influence du dioxyde de carbone sur le réchauffement de la planète fait également l'objet d'études, notamment pour tenter de mesurer l'effet de la haute altitude sur la transformation du composant. Tant que des précisions n'auront pas été apportées, le doute entretiendra la méfiance et la peur. C'est sans doute ici qu'il faut chercher l'une des raisons qui font que le transport aérien est la cible des organisations de protection de la nature les plus virulentes.

Le CO<sub>2</sub> est aussi un sous-produit naturel du processus de combustion. Contrairement aux particules, au monoxyde de carbone et aux hydrocarbures qui diminuent lorsque la combustion est optimale, dans les mêmes conditions, le dioxyde de carbone augmente.

La vapeur d'eau est également un sous-produit de la combustion. C'est d'ailleurs le principal gaz à effet de serre. Elle entre pour 55 % dans le processus, alors que la part du CO<sub>2</sub> est de 39 %. Émise dans le sillage des avions, elle se matérialise en longues traînées blanches persistantes à la sortie des réacteurs, du fait des basses températures de l'ordre de - 50 °C rencontrées en altitude. En se condensant, la vapeur d'eau donne naissance à de petits cristaux de glace. Les traînées de condensation peuvent alors s'étaler en bancs de nuages de type cirrus, plus ou moins opaques. Le Giec estime que l'effet sur le réchauffement de la planète de ces traînées de condensation pourrait être comparable à celui du CO<sub>2</sub> émis par les avions.

Des questions restent encore en suspens. Une chose est sûre en revanche : il y a urgence pour l'aviation à réduire les gaz à effet de serre dont elle est la source.

## Le bruit toujours

L'impact environnemental du transport aérien ne se limite pas aux seules émissions de gaz à effet de serre. La mise en avant des gaz à effet de serre ferait presque oublier que les

avions constituent une source de nuisances sonores. Jusque dans un passé récent, c'était d'ailleurs le reproche numéro un qui était fait à l'aviation. Historiquement, le bruit et la détérioration de la qualité de l'air aux abords des aéroports ont été les deux motifs essentiels de plaintes et de revendications des populations riveraines des plateformes aéroportuaires. Confrontées directement à l'augmentation du trafic, elles ont pu, dans un premier temps, constater la dégradation de leur qualité de vie.

La médiatisation du réchauffement de la planète a fait passer le bruit au deuxième rang des préoccupations. Les progrès accomplis par les avionneurs et les motoristes ont également contribué à réduire de manière conséquente l'impact sonore. Quant à la qualité de l'air aux abords immédiats des aéroports, elle s'est sensiblement améliorée du fait aussi des performances des réacteurs. Une meilleure combustion du carburant réduit quasi totalement les rejets d'hydrocarbures et de monoxyde de carbone.

Malgré les progrès de l'industrie et la prise en compte du problème par les opérateurs, la gêne sonore n'a pas été encore complètement éliminée. Pour l'opinion publique, elle est malgré tout passée en arrière-plan, derrière les émissions de gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique.

La prise en compte des nuisances aéroportuaires par les médias est, en effet, étroitement liée à la capacité des associations de riverains à mobiliser l'opinion publique sur ces problèmes. La gêne liée au bruit est très localisée et concerne une frange de la population, contrairement aux conséquences climatiques de la présence des gaz à effet de serre dans l'atmosphère qui impactent la population du globe dans son ensemble. Les conséquences ne sont plus les mêmes, le rapport de force non plus.

Il n'en demeure pas moins que la lutte contre les nuisances sonores reste un combat d'actualité qui a donné naissance à un arsenal législatif contraignant visant à

interdire progressivement les avions les plus bruyants et à limiter les vols de nuit. Elle a entraîné la mise en œuvre de nouvelles procédures d'atterrissage et de décollage. Elle est aussi à l'origine d'un éventail de taxes destinées à indemniser les populations victimes des nuisances.

La mise en place progressive de ces mesures s'est traduite par une baisse sensible de la gêne sonore aux abords des aéroports, en dépit d'une augmentation spectaculaire du nombre de mouvements. En quarante ans, les constructeurs aéronautiques et les motoristes sont parvenus à réduire l'empreinte acoustique des avions de 90 %. Les émissions d'hydrocarbures et de particules, qui sont l'une des principales récriminations des riverains des aéroports, ont été quasiment éliminées. Sur le même intervalle, les émissions de CO<sub>2</sub>, elles, ont néanmoins été réduites de 70 % – alors qu'elles n'étaient pas encore d'actualité.

## Des progrès constants

Il y a une quinzaine d'années, le Giec a établi un rapport capital sur le changement climatique qui sert aujourd'hui encore de référence. L'industrie aéronautique a non seulement contribué à sa diffusion, mais elle s'est appuyée sur ce travail pour mettre en œuvre une stratégie visant à limiter son propre impact sur l'environnement. À l'époque, les experts du climat avaient estimé que la part de l'aéronautique dans les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> était de 2 %. En quinze ans, elle est donc restée constante, alors que dans le même intervalle de temps, le transport aérien a connu une croissance sans précédent. Le nombre des passagers transportés est passé de 1,166 milliard en 1993 à 2,2 milliards en 2007, soit un quasi-doublement. Sur la même période, le tonnage du fret aérien a fait un bond de 130 %.

Malgré cette croissance spectaculaire, les rejets de gaz à effet de serre ont pu être contenus grâce aux progrès réalisés

par les constructeurs aéronautiques et les motoristes, mais aussi par la modernisation des flottes des compagnies aériennes et leur meilleure gestion.

Quinze ans en arrière, un quadrimoteur Boeing 747-300 entre l'Europe et les Antilles émettait 84 g de CO<sub>2</sub> par passager et par kilomètre. Aujourd'hui, sur la même route, un biréacteur 777-300ER rejette 66 g de CO<sub>2</sub> par passager et par kilomètre, soit 21 % de moins. L'entrée en service du 787 Dreamliner, dans les mois à venir, va encore permettre d'améliorer ces performances puisque ce nouveau biréacteur présentera une consommation de kérosène inférieure de 20 % par rapport aux modèles comparables et donc une baisse proportionnelle des émissions.

Il ne fait pas de doute que, dans un premier temps, la baisse des émissions de gaz à effet de serre a moins été un objectif qu'une conséquence, celle de la réduction de la consommation de carburant. Dès le début de l'ère du transport aérien moderne dans les années 1960, les constructeurs et les motoristes ont recherché la performance pour réduire la consommation et ainsi pouvoir offrir un rayon d'action accru, à emport de carburant équivalent.

## Une recherche permanente des économies d'énergie

À la suite du premier choc pétrolier, au début des années 1970, la modernisation des flottes s'est imposée comme un passage obligé aux compagnies aériennes pour rester compétitives. Avec la libéralisation du marché, la concurrence s'est renforcée. Dans le même temps, le prix du pétrole n'a cessé de grimper. Il s'est encore envolé au cours des dernières années pour atteindre des niveaux records qu'il ne cesse de battre. En l'espace de quelques mois, la part du carburant dans les coûts de production des compagnies aériennes traditionnelles est passée de 15 % à plus

de 30 %. Elle est sensiblement supérieure pour les compagnies *low cost*. Dans ce contexte, ce secteur apparaît vulnérable, en particulier pour les compagnies ne disposant pas d'une flotte moderne.

En 2008, le poids du carburant sur l'ensemble du transport aérien est estimé à 156 milliards de dollars. Autant de bonnes raisons de tout mettre en œuvre pour réduire la consommation des avions.

Chaque litre de kérosène économisé correspond aussi à quelques dizaines de grammes en moins de CO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub> rejetés dans l'atmosphère. Et sur le nombre de vols, cela finit par faire des tonnes. En 2007, on a pu ainsi épargner 10 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> : 3,8 millions par l'optimisation des routes et 6,7 millions par l'application de meilleures pratiques par les compagnies. Chaque minute de vol gagnée par le raccourcissement des routes permet, en effet, d'économiser jusqu'à 160 kg de CO<sub>2</sub>.

L'organisation de l'espace aérien a également été remise en question. Avec beaucoup de réserves et de temporisation toutefois, au nom de la sécurité, mais aussi dans la défense de prérogatives jalousement défendues par des organismes nationaux. Même si c'est à ce niveau que se situent les plus faibles gains de productivité, des avancées ont néanmoins pu être réalisées. L'une des plus significatives est sans doute la mise en place, sur l'Atlantique nord, du dispositif RVSM (*reduced vertical separation minimum*) qui permet de réduire l'espacement vertical entre deux avions en croisière. Cette innovation a eu pour conséquence directe une économie significative de consommation.

En autorisant techniquement les avions à voler plus près les uns des autres sans pour autant porter atteinte à la sécurité des vols, il est possible d'optimiser les conditions de vol, en permettant aux pilotes d'aller rechercher les vents les plus favorables (ou les moins pénalisants le cas échéant). Sur 400 000 vols annuels comptabilisés entre l'Europe et

l'Amérique du Nord, le gain se situe aux environs de 1 million de tonnes de CO<sub>2</sub>, gain qui vient s'ajouter à d'autres économies.

Confronté à l'urgence de la situation, le transport aérien recherche toutes les solutions qui peuvent être immédiatement mises en œuvre pour réduire simultanément sa consommation de kérosène et son empreinte environnementale. Mais il est évident que ces économies ne peuvent être que marginales et porter sur quelques pour-cent ici et là. Pour atteindre l'objectif de 0 g de CO<sub>2</sub> à l'horizon 2050 il faudra en passer par une remise en question totale, à la fois des technologies et procédés. Tout en préparant une rupture technologique, il est encore possible d'optimiser l'existant.

En une quarantaine d'années, les constructeurs aéronautiques sont parvenus à réduire de 70 % la consommation de leurs avions. Néanmoins, l'aéronautique fait office aujourd'hui de bouc émissaire. L'avion est présenté comme une nuisance et son apport à la société passe en arrière-plan. De toute évidence, l'industrie aéronautique a perdu la première manche de la bataille médiatique. Ce n'est, en revanche, pas le cas des aéroports, qui sont devenus des experts en matière de prise en compte de la question environnementale.

## L'expertise environnementale des aéroports

Quand un avion fait vibrer les vitres d'un pavillon résidentiel, ce n'est ni vers la compagnie, ni vers les contrôleurs aériens, encore moins vers le constructeur, que les riverains se retournent, mais vers l'aéroport. Et parce qu'il est devenu malgré lui l'interlocuteur naturel des riverains en colère, c'est lui qui a été le premier à adopter la posture adéquate.

Maisons de l'environnement, médiateurs, dispositifs de suivi des trajectoires, sites Internet spécialisés, colloques, etc.

En l'espace de deux décennies, les aéroports se sont dotés d'un arsenal complet pour réunir les conditions du dialogue avec les populations victimes des nuisances sonores. En parallèle, les pouvoirs publics ont mis en œuvre des structures représentatives dans lesquelles les riverains peuvent faire entendre leur point de vue. Ce sont par exemple les commissions consultatives de l'environnement au sein desquelles les élus locaux et les responsables des associations de défense peuvent faire valoir les intérêts de ceux qui sont les plus exposés aux nuisances sonores. Ces structures sont devenues des lieux d'échange, de débat, et même de concertation.

Devant leurs riverains, les aéroports ont pris des engagements chiffrés qui ont débouché sur la mise en place de contraintes opérationnelles qui ont, par exemple, progressivement interdit l'accès des aéroports européens aux avions les plus bruyants du chapitre 3 (les avions sont classés en quatre chapitres définis par des niveaux d'émissions sonores décroissants ; cf. p. 35). Les vols de nuit sont désormais contingentés et des procédures spécifiques de décollage et d'atterrissage existent sur tous les sites. Les codes de bonne conduite se généralisent. À travers ces contrats moraux initiés par les aéroports, contrôleurs et pilotes de ligne s'engagent à réduire les nuisances sonores en respectant des procédures locales.

En parallèle, un ensemble d'outils est déployé sur les aéroports pour contrôler le respect de la réglementation et des engagements. Les systèmes de mesure du bruit, associés au suivi des trajectoires, permettent notamment de repérer tout écart. Des campagnes de mesure de la qualité de l'air mettent en lumière les retombées anormales d'hydrocarbures ou de tout autre résidu. Ces éléments factuels dépassionnent les relations et alimentent le dialogue.

Bien avant les compagnies aériennes et les constructeurs aéronautiques, les aéroports ont été les premiers à créer des directions du développement durable, à mettre

en place un management environnemental et à s'engager dans une certification environnementale. Pour eux, le développement durable est une réalité quotidienne.

Les aéroports travaillent évidemment sur la limitation des nuisances liées au transport aérien. C'est le volet environnemental de leur engagement. Ils s'efforcent d'associer les populations riveraines aux retombées économiques, en favorisant notamment l'emploi des riverains dans les entreprises implantées sur leur site. C'est le volet économique. Ils sont également impliqués dans la vie associative locale et l'amélioration de l'habitat. C'est le volet social.

Les aéroports jouent sur les trois piliers du développement durable pour permettre au trafic aérien de répondre à une demande croissante en respectant les intérêts des populations riveraines. Leur bilan est d'autant plus satisfaisant qu'ils ne constituent en réalité qu'un maillon de la chaîne du transport aérien, lequel a d'une certaine manière servi jusqu'à présent de paratonnerre. La force de cette démarche a été d'imaginer des lieux de rencontre et d'échange où chacun peut exprimer ses revendications et expliquer sa stratégie. C'est à ce niveau que résident la puissance et le succès de cette communication transparente qu'entretiennent, aujourd'hui, les aéroports des pays industrialisés.

## Une révolution culturelle autant que technologique

Une véritable culture environnementale existe aujourd'hui chez les gestionnaires des aéroports. Une culture qui tend à s'ancrer dans les compagnies aériennes et qui a pris forme dans la filière de la construction aéronautique. À quelque niveau qu'ils se trouvent, tous les acteurs de l'industrie aéronautique ont désormais adopté une démarche environnementale sanctionnée par la certification

ISO 14000 à travers laquelle ils peuvent ainsi mettre en œuvre des moyens identiques et viser des objectifs communs.

Il s'agit d'apporter de nouvelles solutions innovantes ; il ne s'agit pas simplement de produits ou de services supérieurs sur le plan de la performance environnementale ; il faut également pouvoir créer des produits qui soient développés et mis en œuvre, construits, testés, utilisés, entretenus, puis récupérés et recyclés dans un esprit écologique. C'est dans une véritable révolution culturelle que s'est engagée l'industrie aéronautique dans son ensemble.

L'enjeu est vital, au sens littéral du terme. Le secteur est condamné à réussir pour pouvoir continuer à exister. Les véritables problèmes technologiques ne trouveront de réponse qu'à travers des efforts concertés et coordonnés de toute l'industrie aéronautique, aussi bien au niveau des fournisseurs, des constructeurs, des prestataires de services ou des développeurs qui, à travers les clients privés ou publics, peuvent jouer leur rôle. Cette démarche suppose une mobilisation de tout le secteur et la mise en place de partenariats croisés. Elle passe par l'instauration d'un dialogue avec les pouvoirs publics, avec les collectivités locales, avec les utilisateurs, avec les clients pour continuer à améliorer la performance écologique. Comme savent le faire les aéroports. Seule cette stratégie d'ouverture débouchera sur la réduction de l'empreinte environnementale du transport aérien à travers l'ensemble de la durée de vie d'un appareil, de sa conception sur ordinateur jusqu'au recyclage de l'avion, en fin de vie.

La remise en question est inévitable. La pression extérieure ne laisse pas le choix. La préservation de l'environnement dicte les objectifs. Les solutions seront trouvées parce que la volonté intérieure est plus forte que jamais. Au sein des entreprises, le personnel est sensibilisé à l'enjeu. Il ne s'agit pas d'un simple challenge industriel, mais bien d'un véritable enjeu de civilisation. La conscience de l'urgence

de la situation existe. Chacun, à titre personnel, dans sa vie privée, sait qu'une course contre la montre est engagée. La lutte contre le réchauffement climatique commence dans la vie quotidienne. Elle se prolonge naturellement dans l'activité professionnelle. Il n'y a plus de frontière entre les deux univers dans lesquels évoluent les individus. Le professionnel est un citoyen. C'est avec un état d'esprit nouveau que le changement de comportement est engagé. Chacun à son niveau est comptable de la réussite. La pression vient de la base. Et c'est aussi pour cela que le pari sera gagné.



## Chapitre

---

### Une industrie innovante par nature

Le transport aérien est entré dans l'ère du réacteur le 15 juillet 1954, dans un vacarme assourdissant et un nuage de fumée noire. Le monde entier applaudit ce jour-là le premier vol du Boeing 707 qui demeurera dans l'histoire de l'aviation le premier avion commercial produit en grande série. Le bruit infernal qui ébranla Seattle et le panache épais que crachaient les quatre réacteurs Pratt & Withney JT3D exprimaient, à cet instant précis, toute la puissance du progrès technologique. L'émotion était forte.

Avec le recul, cette image, sortie de son contexte, est choquante. Les critères d'appréciation ont changé et, en matière aéronautique, le progrès est aujourd'hui incarné par un gros-porteur qui glisse dans le ciel, en silence. C'est un fait et il n'est pas pour autant question de renier le passé. Bien au contraire.

L'aviation est l'une des plus remarquables aventures humaines et elle le restera. Des pionniers, avant les ingénieurs, ont permis aux hommes de s'affranchir des distances. En moins d'un siècle, l'avion s'est imposé comme l'un des

moyens de transport de masse les plus sûrs. Et de ce point de vue, son influence sur l'évolution du monde, au 20<sup>e</sup> siècle, a été déterminante. Elle continue de l'être d'ailleurs... Mais avant de devenir un phénomène de civilisation, l'aviation est une invention extraordinaire.

## Le progrès technologique permanent

Depuis le premier vol des frères Wright, en décembre 1903, l'aviation n'a été qu'innovations technologiques. Il a fallu d'abord aux précurseurs prouver que l'homme était capable de voler avant que les industriels démontrent que l'avion pouvait être un moyen de locomotion. Cela a pris à peine quarante ans. Ensuite, chaque nouvel avion a repoussé les limites.

Avec la grille de lecture du 21<sup>e</sup> siècle, Concorde peut être jugé comme une aberration, un avatar de la course au progrès technologique. Il n'en demeure pas moins que le supersonique franco-britannique a écrit l'une des plus belles pages de l'histoire de l'aviation. Il a rendu possible l'industrie aéronautique européenne et, de ce point de vue, Concorde a été nécessaire au développement du transport aérien.

Mais le supersonique européen est bien devenu un rêve impossible qui a hanté les constructeurs jusque dans un passé récent. À la fin des années 1990, Boeing, avec l'étude du Sonic Cruiser, avait envisagé un nouvel avion, privilégiant la vitesse lui aussi, avec des évolutions technologiques permettant sa rentabilité. Le séduisant Sonic Cruiser n'a pas dépassé le stade du projet. Le constructeur américain a choisi de développer le 787 Dreamliner.

Ce revirement, qui s'est opéré dans un intervalle de temps réduit, est le meilleur révélateur de ce qu'imposent désormais la nouvelle donne environnementale et les contraintes d'exploitation des compagnies aériennes.

Le 787 apparaît aussi comme la réponse aux nouvelles attentes des passagers. Leur prise en compte impose à l'industrie de privilégier le confort et la sérénité, ainsi qu'un coût d'exploitation sensiblement réduit pour les compagnies aériennes avec pour heureuse conséquence des prix de billets maîtrisés. Le dépassement du mur du son n'est plus d'actualité.

Pendant des décennies, et pas exclusivement dans le domaine aéronautique, seules ont compté la performance technologique, l'abolition des contraintes du lieu et de l'espace, la possibilité pour les masses de bénéficier du progrès. Autant de grands mythes de la modernité. Mais à présent que le transport aérien a répondu à ces attentes, de nouveaux besoins s'expriment. Dans les années à venir, la réussite de l'industrie aéronautique ne se jugera plus sur la capacité des avions à voler toujours plus vite, toujours plus haut, toujours plus loin, mais à traverser le ciel sans laisser de trace. Le nouveau défi environnemental n'est pas moins ambitieux que celui qui a consisté à s'arracher du sol et à se déplacer dans la troisième dimension. L'environnement est le défi de la quatrième dimension. Celui qui permettra à l'aviation de continuer à répondre aux besoins des populations et des marchés.

### Le défi de la dimension environnementale

L'accélération du réchauffement de la planète auquel l'aviation contribue au niveau de 3,5 % (tous gaz confondus), mais plus encore la pression sociétale qui s'exerce sur les gouvernants des pays développés obligent à réagir sans délais et à obtenir des résultats tangibles immédiatement. Dans un tel contexte, il n'est évidemment pas possible d'attendre que la recherche réalise un saut technologique. Il est impératif d'optimiser les moyens existants pour les rendre acceptables et permettre au transport aérien de

continuer à se développer pour faire face à la demande croissante de déplacement des habitants de la Terre et de transports express de marchandises.

Ces efforts d'optimisation de l'existant, dans le but d'atténuer l'empreinte environnementale sous la pression morale de l'opinion publique, se traduisent dans les faits par l'intensification des contraintes opérationnelles et la mise en place de pénalités financières dont l'efficacité n'est pas toujours avérée au regard de leur caractère pénalisant. Cet arsenal répressif se veut incitatif. Les États réfléchissent à la forme qu'il va pouvoir revêtir concernant notamment les émissions de gaz à effet de serre et plus particulièrement le rejet de CO<sub>2</sub>. Il existe déjà pour les nuisances sonores.

## UNE APPROCHE ÉQUILBRÉE DE LA LUTTE CONTRE LE BRUIT

Bien avant que l'on prenne conscience du phénomène de réchauffement de la planète et que l'on mesure le rôle que pouvait jouer l'aviation dans le bouleversement climatique de la Terre, le bruit des avions est devenu intolérable pour les populations riveraines des grands aéroports à travers le monde. La lutte contre les nuisances sonores s'est organisée dans un rapport de force qui a évolué au fil des décennies vers une approche équilibrée de la gestion du bruit.

Alors que l'industrie aéronautique tout entière est interpellée aujourd'hui dans le dossier des émissions de gaz à effet de serre, il nous est apparu intéressant de montrer comment les relations entre les professionnels, les autorités et le public impliqués dans le problème du bruit ont évolué et quelle est leur nature aujourd'hui. De ce cas précis, il est en effet possible de tirer des enseignements et de les extrapoler au problème plus global des émissions de gaz à effet de serre, d'autant que la lutte contre le bruit est toujours d'actualité – mais elle est rigoureusement structurée et encadrée.

Le transport génère encore des nuisances sonores aux abords des aéroports et les riverains n'ont pas relâché leur garde. Néanmoins, des progrès technologiques significatifs ont été accomplis et les relations entre les uns et les autres ont également évolué dans le sens du dialogue. Le rapport de force s'est déplacé sur le terrain de la concertation. L'opposition stérile s'est effacée derrière un traitement cohérent du problème qui permet aux aéroports de développer leur trafic dans le respect des populations riveraines et de leur environnement. Face à l'enjeu de la réduction de son impact sur le réchauffement climatique de la planète, l'industrie aéronautique bénéficie d'une première expérience sur laquelle elle doit s'appuyer.

## Une approche équilibrée de la lutte contre le bruit

En 2001, l'assemblée de l'Oaci a entériné la notion d'une « approche équilibrée » pour la gestion du bruit des aéronefs. Il s'agit là d'une avancée d'une portée importante qui place les protagonistes de chaque dossier en face de leurs responsabilités. Les mesures coercitives sont prises en tenant compte de leurs conséquences. Et cela, c'est nouveau !

Cette manière innovante d'aborder le problème consiste à identifier les incidences du bruit propre à un aéroport puis à analyser les diverses mesures disponibles pour l'atténuer. Chaque fois, quatre principaux éléments sont pris en compte, à savoir : la réduction du bruit à la source, la planification et la gestion de l'utilisation des terrains, les procédures opérationnelles d'atténuation du bruit et les restrictions à l'exploitation.

Cette approche a pour but d'attaquer le problème du bruit aussi économiquement que possible. En élaborant ainsi des politiques visant chacun de ces éléments, ainsi que les redevances liées au bruit, l'Oaci apporte la preuve que le transport aérien est un secteur citoyen. Pour cette entité mondiale, le bruit est un combat ancien.

## Le bruit, enjeu environnemental historique

Depuis plus de trente ans, l'Oaci consacre la plupart de ses efforts dans le domaine du bruit des aéronefs à sa réduction à la source. Au fil du temps, l'agence des Nations unies a mis en place un arsenal complexe, mais efficace. Les avions et les hélicoptères construits de nos jours doivent satisfaire les normes de certification acoustique de plus en plus sévères pour avoir le droit d'opérer.

Les avions à réaction de la première génération tels que le Boeing 707 et le Douglas DC-8 n'étaient pas visés par ces premières mesures. Conçus avant l'élaboration des normes, ils sont logiquement regroupés sous le nom d'avions

sans certification acoustique ou SCA. Les premières normes applicables aux avions à réaction conçus avant 1977 figuraient au chapitre 2 de l'annexe 16.

L'annexe 16 est le volet environnemental de la convention de Chicago, le document fondateur du transport aérien international signé en 1944 par les pays membres des Nations unies au moment de la création de l'Oaci. Elle a été ajoutée en 1971 et ne concernait alors que le bruit. Elle a été étoffée dix ans plus tard avec un nouvel ensemble de normes et de pratiques recommandées s'appliquant cette fois-ci aux émissions des moteurs d'avion.

### La réduction du bruit à la source

L'annexe 16 propose un classement des avions en fonction de leur niveau de bruit. Chaque famille d'appareils est regroupée en chapitre. C'est ainsi que le Boeing 727 et le Douglas DC-9, avions à réaction de deuxième génération datant des années 1970, appartiennent au chapitre 2. Par la suite, les nouveaux aéronefs ont dû satisfaire les normes plus strictes du chapitre 3 de l'annexe 16. Le Boeing 737-300/400, le Boeing 767 et l'Airbus A319 sont des exemples de types d'aéronefs du chapitre 3. Le chapitre 4, qui régit les avions mis en service actuellement, a été défini en 2001. Il est entré en application le 1<sup>er</sup> janvier 2006.

Dans cette logique de classification, la Direction générale de l'aviation civile française, sous l'égide de Oaci, a créé en 2006 la base de données NoisedB. L'objectif est d'obtenir pour chaque type d'appareil commercialisé les niveaux de bruit certifiés correspondants garantis par des autorités chargées de la réglementation. NoisedB constitue ainsi une source d'informations générales destinée au grand public.

La réduction du bruit à la source ne concerne évidemment pas seulement les constructeurs aéronautiques et les

motoristes. Elle s'applique également aux opérateurs du transport aérien et aux aéroports. Elle porte aussi sur une planification et une gestion de l'utilisation des terrains autour des aéroports.

Ce volet est un moyen efficace de rendre les activités qui se déroulent à proximité des plates-formes aéroportuaires compatibles avec l'aviation et de réduire au minimum la population touchée par le bruit des aéronefs en périphérie des pistes. La planification et la gestion compatibles de l'utilisation des terrains sont également indispensables afin que les gains réalisés en matière de réduction du bruit des aéronefs les plus récents ne soient pas annulés par le développement de nouvelles zones d'habitation au voisinage des aéroports. L'Oaci recommande d'une méthode uniforme d'évaluation du bruit au voisinage des aéroports.

### Une empreinte sonore de plus en plus légère

Le bruit généré par un avion provient en fait de sources différentes. Il y a bien évidemment les moteurs, mais il y a aussi les phénomènes aérodynamiques qui se produisent au niveau des trains d'atterrissage et des volets, et également les interactions entre les moteurs et la cellule. La masse de l'avion et de sa trajectoire entrent aussi en ligne de compte.

Au cours des trente dernières années, on constate une diminution par deux de la gêne perçue par les riverains et par trois de la surface d'exposition au bruit. Le bruit se concentre dans un périmètre de plus en plus restreint autour des pistes. L'énergie acoustique perçue par un riverain situé à 5 km de l'aéroport a été divisée par dix.

De ce point de vue, la cartographie comparée des empreintes sonores des avions de générations successives est révélatrice. Elle montre par exemple que le bruit émis au décollage par un 787 Dreamliner est tout entier

contenu à l'intérieur du périmètre de l'aéroport (voir la carte de l'aéroport de Londres-Heathrow en annexe de cet ouvrage).

Les moteurs modernes sont plus puissants et moins bruyants. Ils sont aussi beaucoup plus impressionnants. Ils présentent en effet de grands taux de dilution à grand diamètre qui ont fortement contribué à réduire le bruit des jets, lequel est – comme le reconnaissent les motoristes – techniquement difficile à traiter autrement. Des technologies innovantes de réduction du bruit des rotors, particulièrement du fan, ont également été mises en œuvre. Les recherches ont aussi porté sur le carénage des moteurs et sur le traitement des entrées d'air. L'utilisation de panneaux absorbants a permis un gain important, de même que la réduction du nombre d'éléments qui habillent l'ouverture du réacteur. Aussi parfait soit-il, l'assemblage des différentes pièces crée des aspérités qui, sous l'effet du vent relatif, génèrent du bruit. La mise en œuvre de nouveaux procédés de fabrication et l'utilisation de matériaux composites permettent désormais de produire des pièces de grande diamètre, aussi complexes soient-elles. C'est aujourd'hui dans le détail que les industriels doivent traquer le progrès. C'est aussi à la marge que les compagnies aériennes peuvent améliorer leurs propres bilans environnementaux.

### Procédures d'exploitation à moindre bruit

Les procédures d'exploitation à moindre bruit permettent en effet de réduire à un coût relativement faible le bruit causé par l'exploitation des aéronefs. Elles regroupent plusieurs méthodes, y compris l'utilisation préférentielle de pistes et de routes ainsi que des procédures pour le décollage, l'approche et l'atterrissage. Le choix de l'une quelconque de ces mesures dépend des caractéristiques physiques de l'aéroport et de ses environs, mais dans tous les cas la

procédure doit tenir compte avant tout des considérations relatives à la sécurité.

Les préoccupations relatives au bruit ont amené certains États, surtout parmi les pays industrialisés, à envisager d'interdire l'accès des aéronefs bruyants à leurs aéroports sensibles au bruit. Durant les années 1980, l'accent était mis sur les appareils de type SCA et, au cours de la décennie suivante, sur les aéronefs du chapitre 2. Ces appareils ayant définitivement disparu du ciel européen, sont désormais concernés les aéronefs du chapitre 3, qui produisent le plus de bruit.

Les restrictions d'exploitation de ce type peuvent cependant avoir de sérieuses conséquences économiques pour les compagnies aériennes en cause, qu'elles aient leur siège dans les États qui les appliquent ou dans ceux (surtout les pays en développement) qui assurent des services à destination et en provenance des aéroports visés. La hausse du prix du pétrole – et donc la part de plus en plus importante que représente le carburant dans les coûts directs d'exploitation – a d'une certaine manière incité les compagnies à sortir de leur flotte ces avions les plus bruyants qui sont aussi les moins économes.

Néanmoins, à chaque occasion, l'assemblée de l'Oaci a réussi à trouver une solution – figurant dans une de ses résolutions – qui constitue un compromis prudent entre les intérêts des États en développement et ceux des États développés, et qui prend en considération les inquiétudes de l'industrie du transport aérien, des aéroports et du secteur environnemental.

### Une volonté de supprimer les nuisances sonores

En 1990, l'assemblée de l'Oaci a demandé aux États de n'imposer aucune restriction à l'exploitation des aéronefs du chapitre 2 sans avoir au préalable examiné d'autres

alternatives. Elle a ensuite offert une base sur laquelle les États qui souhaitent imposer des restrictions à l'exploitation des aéronefs du chapitre 2 pouvaient le faire. Les États pouvaient commencer à mettre fin à l'exploitation des aéronefs du chapitre 2 à partir du 1<sup>er</sup> avril 1995 et les retirer tous du service avant le 31 mars 2002. Toutefois, avant cette dernière date, les aéronefs du chapitre 2 pouvaient continuer d'être exploités pendant vingt-cinq ans après la date de délivrance de leur premier certificat de navigabilité. En d'autres termes, les aéronefs du chapitre 2 exploités depuis moins de vingt-cinq ans au 1<sup>er</sup> avril 1995 n'étaient pas immédiatement touchés par cette exigence. De même, les gros-porteurs du chapitre 2 et ceux qui sont dotés de moteurs plus silencieux (à taux de dilution élevé) n'ont pas été immédiatement touchés après le 1<sup>er</sup> avril 1995. Nombre de pays industrialisés tels que l'Australie, le Canada, les États-Unis et de nombreux pays d'Europe ont depuis cette date pris des mesures pour faire cesser sur leurs aéroports l'exploitation des avions du chapitre 2, prenant dûment acte de la résolution de l'assemblée. Les mesures prises ont contribué à réduire de façon considérable les niveaux de bruit de nombreux aéroports. Toutefois, on peut dire que la majorité des avantages que pouvait apporter le retrait des avions du chapitre 2 ont déjà été réalisés.

En ce qui concerne le chapitre 3, l'assemblée de l'Oaci a demandé en 2001 aux États de ne pas appliquer de restrictions à l'exploitation des avions qui dépassent les niveaux de bruit du chapitre 3 avant d'avoir pleinement évalué, en application de l'approche équilibrée, les autres mesures disponibles qui permettraient de réduire le bruit à l'aéroport concerné.

L'assemblée a également dressé une liste de sauvegardes à respecter lors de l'imposition de restrictions à l'exploitation d'avions dépassant les niveaux de bruit établis au chapitre 3. Par exemple, les restrictions doivent être fondées sur les caractéristiques acoustiques de l'appareil et

être adaptées au problème de bruit existant à l'aéroport visé, et tenir compte aussi de la situation particulière des exploitants des pays en développement. Malgré ces recommandations, l'Europe a accéléré le retrait des avions les plus bruyants de son ciel.

La première politique de l'Oaci en matière de redevances liées au bruit a été élaborée en 1981. C'est un tournant important dans la lutte contre le bruit aux abords des aéroports. Le conseil de l'Oaci reconnaît en effet que, malgré les réalisations en matière de réduction du bruit des aéronefs à la source, beaucoup d'aéroports devront continuer à appliquer des mesures d'atténuation ou de prévention du bruit.

Le conseil estime en outre que les dépenses occasionnées par l'application de ces mesures pourraient, à la discrétion des États, être imputées aux aéroports et recouvrées auprès des usagers. Au cas où des redevances liées au bruit seraient perçues, le conseil recommande qu'elles ne le soient qu'aux aéroports où se posent des problèmes de bruit et qu'elles ne recouvrent que les dépenses effectuées pour atténuer ou éliminer ces problèmes. En outre, elles devraient être établies sans discrimination entre les usagers et à des niveaux qui ne rendent pas prohibitif le coût d'exploitation de certains aéronefs.

## L'Europe en pointe

Le concept d'approche équilibrée a été repris en 2002 par l'Union européenne dans la directive 30/2002/CE qui constitue l'ancrage réglementaire d'une approche équilibrée de la problématique des nuisances sonores et des restrictions d'exploitation imposées. L'idée directrice est qu'il convient obligatoirement, préalablement à la mise en application de normes de bruit et autres limitations d'exploitation, de tenir compte de conditions acceptables économiquement.

L'introduction de restrictions d'exploitation liées au bruit sur les aéroports est soumise à certaines règles. Certaines limitations ne peuvent donc être imposées que si ces règles sont respectées. Il s'agit aussi de réaliser une analyse coûts-bénéfices avant d'envisager les restrictions d'exploitation.

Comme elle est en train de le devenir dans le traitement du dossier des émissions de gaz à effet de serre, l'Europe fait figure de précurseur en matière de lutte contre le bruit. La Communauté européenne a été prompte à traduire dans son arsenal législatif et réglementaire les directives de l'Oaci. Elle est même allée souvent plus loin que ne le recommandait l'organisation internationale.

C'est ainsi que le retrait des avions de chapitre 2 est effectif en Europe depuis avril 2002. Cette interdiction fait suite à la directive européenne 92/14/EU imposant la limitation progressive de l'exploitation de ces avions entre 1995 et 2002. Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2003, le vol des avions aux normes du chapitre 3 est également interdit entre 23 h et 6 h, uniquement de par la limitation de la masse maximale au décollage ou le montage sur les moteurs d'un équipement d'atténuation du bruit émis (silencieux).

Bien avant que ces textes ne soient élaborés, les gouvernements des pays les plus industrialisés ont été amenés à légiférer sur les nuisances sonores aux abords des aéroports. Autour de la plupart des grandes infrastructures aéroportuaires, la lutte contre le bruit des avions était en effet devenue un enjeu politique local. C'est ainsi que les principaux aéroports français font tous l'objet de restrictions opérationnelles destinées à limiter les nuisances sonores.

## Le modèle français de lutte contre les nuisances sonores

Les vols de nuit, qui constituent le trafic le plus intolérable pour les populations les plus concernées, ont été

rapidement contingentés, voire purement et simplement interdits. Les aéroports de Paris-Orly et de Beauvais-Tillé, en région parisienne, font l'objet d'un couvre-feu général. Ce couvre-feu pour les avions bruyants a été mis en place à Roissy-CDG, Toulouse, Lyon ou encore Nice. Les essais moteurs sont interdits la nuit sur ces mêmes aéroports. L'utilisation des inverseurs de poussée également.

D'une manière plus générale, des procédures spécifiques de décollage ont été instaurées et tendent à se généraliser. L'obligation est faite aux compagnies de publier dans leurs manuels d'exploitation des consignes de conduite machine visant à limiter les nuisances sonores des atterrissages et décollages (mesure prévue pour Roissy, Lyon, Toulouse et Nice).

Les restrictions opérationnelles propres à certaines catégories d'avions entraînent également des conséquences pour les transporteurs aériens fréquentant les aéroports français et européens. L'interdiction des avions les plus bruyants du chapitre 3 a contraint les opérateurs de fret express à anticiper le renouvellement de leurs flottes.

### Une politique française à risque

La France est allée plus loin en plafonnant l'activité de ses deux principaux aéroports sur lesquels se concentrent plus des trois quarts du trafic français. C'est ainsi que le nombre de mouvements est limité à 250 000 par an à Orly et le nombre des passagers ne peut dépasser 55 millions par an à Roissy-CDG. De telles mesures constituent un frein au développement du trafic, d'autant que les infrastructures ont une capacité supérieure et que la demande des compagnies en termes de créneaux horaires ne peut plus être satisfaite.

Il s'agit là de mesures remarquables, mais qui peuvent avoir des effets pernicieux à terme si elles ne sont pas étendues

à l'ensemble des aéroports européens. Il est évident que les passagers voyageant sur long-courriers peuvent contourner l'obstacle facilement en choisissant de se rendre en TGV sur un grand aéroport moins contraint tels ceux de Bruxelles, Londres ou Amsterdam. Ce risque est d'autant plus grand que l'accord de ciel ouvert (Open Sky) signé entre les États-Unis et l'Europe facilite la multiplication des lignes aériennes entre les grandes villes des deux continents.

La limitation de l'activité des aéroports parisiens peut à terme interdire aux compagnies aériennes de répondre à la demande croissante, tant sur le marché des affaires que sur le marché des loisirs. L'impact économique de cette croissance pourrait bénéficier à nos voisins.

Pour atteindre le but recherché de limitation des nuisances sans pénaliser l'activité économique du pays, le plafonnement de l'activité de Roissy-CDG et d'Orly doit intégrer les progrès réalisés en matière de bruit. À émission de décibels constante, il est évident qu'un nombre sensiblement plus important de passagers pourrait être transporté. Un meilleur accès aux aéroports français et en particulier parisiens devrait être possible dans le respect de la qualité de vie des riverains.

C'est à ce prix que la libre circulation des passagers et des biens sera possible. C'est aussi le moyen d'aider au développement économique et à la création d'emplois dans les zones aéroportuaires, de soutenir le dynamisme économique de la France.

## Une haute autorité de l'environnement sonore des aéroports

En matière de lutte contre le bruit autour des aéroports, la France fait figure de pionnière. En 1999, elle a créé la première autorité administrative indépendante dans le domaine de l'environnement. Baptisée Acnusa (Autorité

de contrôle des nuisances sonores aéroportuaires), cette entité, unique en son genre, a pour missions de restaurer le dialogue, rétablir la confiance et faire que le développement du transport aérien ne pénalise pas les populations riveraines.

Dans les faits, l'Acnusa possède un pouvoir de recommandation sur la mesure du bruit et notamment sur les indicateurs adéquats de mesure, l'évaluation de la gêne sonore, la maîtrise des nuisances sonores et les limitations de l'impact du transport aérien et de l'activité aéroportuaire sur l'environnement, notamment par les procédures de moindre bruit au décollage et à l'atterrissage.

Elle a également été dotée d'un pouvoir d'alerte sur les manquements aux règles édictées en matière de protection de l'environnement sonore, ainsi que d'un pouvoir d'investigation sur le bruit lié aux aérodromes et aux trajectoires de départ, d'attente et d'approche. Elle se fait communiquer tous les renseignements et documents utiles, procède ou fait procéder à des vérifications sur place.

Sur les dix principaux aéroports français, elle a autorité pour définir les prescriptions applicables aux stations de mesure du bruit, pour établir le programme de diffusion auprès du public des informations sur le bruit, rendre un avis sur les projets de plan d'exposition au bruit ou de plan de gêne sonore, ainsi que sur les projets de textes réglementaires concernant notamment les modifications des procédures de départ, d'attente et d'approche et pour assurer des missions de médiation. Le terme d'aéroport « acnusa » est entré dans le vocabulaire des gestionnaires !

Les parlementaires français ont souhaité confier à l'Acnusa la compétence de prononcer des amendes administratives pouvant aller jusqu'à 1 500 € pour une personne physique et 20 000 € pour une personne morale. Les infractions concernent le non-respect des restrictions permanentes ou temporaires d'usage de certains aéronefs, en fonction notamment de la classification acoustique

(chapitre 3, « bruyants et plus bruyants »), le non-respect des restrictions permanentes ou temporaires de certaines activités en raison des nuisances sonores qu'elles occasionnent, le non-respect des procédures particulières de décollage ou d'atterrissage en vue de limiter leurs nuisances sonores, le non-respect des règles relatives aux essais moteurs, le non-respect des valeurs maximales de bruit à ne pas dépasser.

En 2007, 581 amendes ont été prononcées, un nombre qui représente une baisse de 21 % par rapport à 2006. En revanche, le montant total des amendes est en hausse de 5,4 % pour s'établir à environ 4,9 M€. Les infractions constatées concernent les déviations de trajectoires des avions ainsi que le non-respect des restrictions d'exploitation des aéroports (couvre-feux, interdiction des avions trop bruyants à certaines heures...).

## Cartographier le bruit

L'Acnusa intervient également au niveau de la cartographie du bruit. Plus précisément, elle est amenée à donner son avis lors de l'élaboration d'un nouveau plan d'exposition au bruit (PEB) sur un aéroport. Elle peut aussi demander sa révision. Le PEB est l'un des moyens de composer avec les inévitables nuisances sonores.

Ce document réglementaire est tout simplement destiné à interdire ou limiter les constructions, afin de ne pas augmenter les populations soumises aux nuisances. Le PEB anticipe à l'horizon de dix à quinze ans les prévisions de développement de l'activité aérienne, l'extension des infrastructures et les évolutions des procédures de circulation aérienne.

Préparé par une procédure spécifique d'enquête publique après avis des communes concernées, de la commission consultative de l'environnement de l'aéroport, de l'Acnusa

et après accord des ministres, le PEB est approuvé par arrêté préfectoral. Le PEB est ensuite annexé et transcrit dans le plan d'occupation des sols et autres documents d'urbanisme.

Si, en principe, les nouvelles constructions ne sont pas autorisées dans le PEB, en revanche, celles situées à l'intérieur de ce périmètre peuvent bénéficier d'aides financières à l'insonorisation. Le fonds d'aides est alimenté par une taxe locale à laquelle sont assujetties les compagnies aériennes qui opèrent à partir de l'aéroport. Si l'Acnusa n'a pas d'équivalent ailleurs qu'en France, en revanche, la cartographie du bruit, la mise en place de zones d'exposition au bruit et les mesures d'accompagnement pour limiter les nuisances font partie de l'arsenal des aéroports dans de nombreux pays industrialisés, en particulier en Europe.

## CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA LUTTE CONTRE LES NUISANCES SONORES

La lutte contre les nuisances sonores autour des aéroports et l'atténuation de l'impact du bruit sur les populations riveraines préfigurent peut-être ce qui pourrait se passer sur le front des émissions de gaz à effet de serre. Quoi qu'il en soit, deux enseignements peuvent être tirés de cette démarche de près de quatre décennies.

Le premier est que les acteurs du transport aérien et les riverains sont parvenus à instaurer un dialogue. Ce résultat a été obtenu sur la durée par la mise en place des conditions d'échange. En France, ce sont notamment les commissions consultatives de l'environnement qui permettent aux professionnels, aux élus locaux et aux représentants de riverains d'étudier ensemble les dossiers et d'être tenus informés des projets de l'aéroport. Pour dépassionner le débat, les aéroports se dotent d'outils de mesure du bruit et d'évaluation de la gêne sonore. Les échanges de points de vue se font ainsi à partir d'éléments factuels approuvés par toutes les parties en présence.

Vis-à-vis des riverains, les aéroports ont également pris des engagements qui s'inscrivent dans une politique de développement durable destinée explicitement à réunir les éléments favorables à la croissance du trafic aérien. Ces engagements visent à neutraliser l'impact de l'activité sur l'environnement et à faire bénéficier les riverains des retombées économiques. Face aux populations environnantes, les aéroports jouent cartes sur table. Cette stratégie de transparence permet d'instaurer un climat de confiance.

Son résultat se mesure à une baisse significative des réclamations. Et sur ce point particulier, il est intéressant de noter que les plaintes viennent de riverains situés de plus en plus loin de l'aéroport. Dans la proximité immédiate, là où la gêne est la plus importante, mais là aussi où les efforts pour en atténuer les effets sont les plus significatifs, les

doléances se font plus rares. À l'inverse, les réclamations se multiplient à plusieurs dizaines de kilomètres du seuil des pistes, là où les avions ont atteint des altitudes de vol élevées.

D'une manière générale, si les riverains acceptent mieux la présence de l'aéroport, c'est non seulement parce qu'ils en ont compris l'intérêt et les contraintes, mais surtout parce que les nuisances ont proportionnellement baissé. Et cela en raison des importantes concessions qu'ont été amenés à faire les acteurs du transport aérien. C'est le second enseignement de la lutte contre les nuisances sonores.

### Un exemple à suivre

Le plafonnement de l'activité sur certains aéroports, les interdictions d'accès appliquées aux avions les plus anciens et les plus bruyants, les restrictions opérationnelles et, en particulier, parmi les plus pénalisantes, les couvre-feux nocturnes... Ce sont là autant de contraintes fortes qu'ont dû accepter sans contrepartie les compagnies aériennes. Ces mesures unilatérales ont été accompagnées d'un arsenal répressif destiné à sanctionner les contrevenants. En parallèle, de nouvelles taxes anti-bruit ont fait leur apparition.

Face à la pression des associations de riverains sur les gouvernants, l'industrie aéronautique est apparue divisée. Elle est montée au front en rangs dispersés et ce sont avant tout les aéroports qui se sont retrouvés en première ligne pour défendre les intérêts du transport aérien. Chacun, en fait, a apporté ses propres solutions au programme global.

Les constructeurs et les motoristes ont travaillé à rendre plus silencieux leurs avions et leurs moteurs, selon les recommandations de l'Oaci. Les compagnies ont ainsi pu renouveler leurs flottes avec des appareils toujours plus silencieux et plus économiques.

Les perspectives de baisse des coûts directs d'opération ont facilité les investissements dans des matériels plus modernes. Les compagnies ont négocié de nouvelles procédures d'approche, d'atterrissage et de décollage qui, dans la majorité des cas, entraînent des allongements de temps de vol, illustrant au passage la difficulté de lutter à la fois contre le bruit et les émissions de gaz.

De leur côté, les organismes de contrôle aérien ont également entrepris une refonte de l'espace aérien en intégrant le paramètre environnemental et en prenant en compte, comme hypothèse de travail, le nombre d'habitants survolés pour chaque option envisagée.

En définitive, les seuls à être en contact permanent avec les riverains ont été depuis le début les aéroports. Quand un avion provoque des nuisances anormales, ce n'est pas vers la compagnie qu'aboutissent les plaintes, ni vers le contrôleur qui a autorisé la trajectoire et l'altitude, mais naturellement vers l'aéroport. Par la force des choses, il est amené à jouer le médiateur. C'est lui qui prend en compte la plainte et s'engage à y répondre dans un délai précis. C'est lui aussi qui fait remonter la réclamation auprès du centre de contrôle et de la compagnie. C'est encore lui qui fait un travail de sensibilisation des contrôleurs aériens et des pilotes. Dans la lutte contre les émissions gazeuses, l'aéroport passe en second plan. Son rôle se limite aux seules opérations au sol dont l'impact sur le phénomène global est marginal par rapport au rejet de dioxyde de carbone et de nitrate d'azote en haute altitude. Dès lors, l'opinion publique n'est plus en mesure d'identifier un interlocuteur. L'industrie aéronautique ne peut plus non plus se retrancher derrière un porte-drapeau qui, dans la majorité des cas, fait avant tout office de bouc émissaire. Elle doit inventer une nouvelle stratégie. Là encore, deux raisons essentielles l'y poussent.

## Faire savoir

La première est liée à un déficit évident de communication. Le public est prêt à s'enflammer pour le premier vol d'un nouveau super Jumbo Jet. Les visiteurs se bousculent par centaines de milliers pour venir voir évoluer des machines volantes dans le ciel du Bourget, tous les deux ans, à l'occasion du plus grand salon aéronautique du monde. Et malgré la banalisation du transport aérien, voler demeure un mythe qui exerce toujours la même fascination sur l'homme. Néanmoins, l'avion est considéré comme l'une des causes majeures du réchauffement climatique – ce que démentent les chiffres. Si le secteur des transports est en effet le premier émetteur de gaz à effet de serre, l'avion n'y entre que pour une part minoritaire.

L'industrie aéronautique est au banc des accusés, alors qu'en quarante ans elle a accompli les progrès les plus spectaculaires dans le domaine de la préservation de l'environnement. Son tort est sans doute de ne pas avoir pris conscience suffisamment tôt que son intérêt était de le faire savoir. Dans le tourbillon médiatique actuel, la pente ne sera pas facile à remonter. Encore faudra-t-il qu'elle trouve le ton juste, qu'elle ne se place surtout pas sur la défensive. Pour l'heure, force est de reconnaître qu'elle n'a pas forcément adopté la meilleure stratégie. La polémique entre l'Oaci et l'Union européenne sur l'entrée ou non du transport aérien sur le marché des quotas de CO<sub>2</sub> n'est pas la bienvenue. Il est utile de relativiser.

La seconde raison qui pousse l'industrie aéronautique à mettre en place une stratégie nouvelle dans sa lutte contre les émissions de gaz à effet de serre est qu'il est impératif de fédérer l'ensemble des acteurs. Le problème ne se concentre pas seulement, comme dans le cas du bruit, sur les aéroports. Il est plus global et n'affecte pas des populations ciblées, mais l'ensemble de la planète et de ses occupants.

L'industrie aéronautique doit se mobiliser dans son ensemble. Le transport aérien est une chaîne de production. Elle a commencé à le faire depuis plusieurs années, avant même que le prix Nobel de la paix ne soit attribué aux experts du Giec et à Al Gore. Mais là encore, elle ne l'a pas fait suffisamment savoir.

## LE PROGRÈS PERMANENT

Voler n'est pas naturel pour l'homme. Depuis la première minute de vol mécanique de l'histoire de l'humanité, à l'aube du 20<sup>e</sup> siècle, l'aviation est engagée sur la voie du progrès continu, parce que l'innovation a, de tout temps, été une nécessité. Pour exister, l'aviation doit repousser en permanence ses limites. C'est ainsi que, jusqu'à aujourd'hui, elle n'a fait que relever des défis successifs, d'abord pour s'affranchir de la pesanteur, ensuite pour offrir la possibilité de se mouvoir en sécurité. Depuis plus d'un siècle, chaque pas en avant se fait par remise en question systématique des acquis.

Cette recherche incessante de la performance a permis au transport aérien de devenir sûr et de s'ouvrir économiquement au plus grand nombre. Les progrès de l'industrie aéronautique ont également contribué à contenir l'empreinte environnementale du transport aérien malgré une croissance soutenue. Comme nous l'avons déjà souligné, malgré un doublement du nombre de passagers transportés en l'espace de quinze ans, la part du transport aérien dans le total des émissions de CO<sub>2</sub> d'origine humaine est restée constante. Ce résultat est directement lié aux progrès spectaculaires accomplis, aussi bien au niveau de la cellule de l'avion que des moteurs, mais également dans la manière d'exploiter les avions et de gérer les flottes.

### La réduction de la masse des avions

La réduction du poids des avions est l'une des préoccupations constantes des avionneurs. Depuis l'origine des temps, en effet, la pesanteur terrestre tend à ramener au sol tout corps qui s'en élève, d'où la nécessité de mettre en œuvre une force pour se soustraire à la gravité. Cette force est évidemment proportionnelle à la masse. Plus celle-ci

est élevée, plus l'énergie nécessaire est importante. Et inversement, d'où la quête permanente des constructeurs qui ont progressivement substitué aux matériaux métalliques un éventail de plus en plus large de matériaux composites dans la construction des cellules des avions.

Chez Boeing, la fibre de verre a été utilisée pour la première fois dans les années 1960, à l'occasion du lancement du programme 747. Son emploi modeste s'est limité dans un premier temps à certaines gouvernes, à des carénages et à des caissons de bord de fuite. Les progrès obtenus dans les années 1970 au niveau de la résistance et de la rigidité de ces nouveaux matériaux ont ouvert d'autres possibilités de mise en œuvre. Boeing a ainsi dessiné, fabriqué et certifié des éléments en fibres de carbone. Il s'agissait essentiellement de la gouverne de profondeur du 727 et de l'empennage horizontal du 737. La part des composites demeurait encore marginale. C'est véritablement avec les programmes 757 et 767, au début des années 1980, qu'elle deviendra significative. Des composites de différents types sont présents sur l'empennage arrière, les ailerons, les volets et les carénages des moteurs. Confinés au seul rôle de revêtement au départ, ils entrent désormais dans la réalisation d'éléments structurants.

## Le développement des matériaux composites

En une vingtaine d'années, les matériaux composites ont considérablement évolué dans leurs caractéristiques comme au niveau des procédés de mise en œuvre. La conception éprouvée ainsi que la qualification du personnel ont élargi les champs d'application. C'est à partir de cette époque également que l'on assiste aux débuts du transfert de technologie des avionneurs vers leurs sous-traitants. Cette évolution constitue une étape cruciale dans la diffusion de ces technologies de pointe.

Dans la construction du Jumbo Jet, les matériaux composites, qui se résumaient en fait à la seule fibre de verre, ne représentaient que 1 % de la masse totale de la cellule, contre plus des trois quarts pour l'aluminium. Ils sont passés à 3 % pour les 757 et 767, et ils ont atteint 11 % pour le 777. Ces nouveaux matériaux, qui occupent une part croissante, se diversifient. Différents types aux caractéristiques mécaniques spécifiques sont mis en œuvre sur le même programme dans des utilisations particulières.

De ce point de vue, le 787 Dreamliner constitue un saut technologique. Les matériaux composites, dont la fiabilité n'est plus à démontrer, entrent pour 50 % dans la construction du dernier-né de Boeing. Pour la première fois dans un programme d'avion de ligne, le fuselage et les ailes sont entièrement réalisés en matériaux composites, tout comme le caisson central qui est d'une certaine manière la clé de voûte de l'ensemble. C'est à ce niveau où les ailes font jonction avec le fuselage que se concentrent les efforts de flexion, de compression, de traction et de cisaillement.

Il est intéressant de noter que la réduction de 20 % de la consommation de carburant du 787 par rapport aux avions de la génération précédente, se répartit entre cinq points imputables au gain de masse et cinq points à l'aérodynamique. Les dix points restants sont liés aux performances du moteur.

Par ailleurs, pour Boeing et ses partenaires industriels, le vrai défi technique a été de pouvoir fabriquer de manière économique des structures de grandes dimensions en matériaux composites. Pour y parvenir, le constructeur américain a étendu son réseau de fournisseurs au monde entier, et plus particulièrement à la France où, depuis des décennies, il entretient des relations étroites avec des entreprises de premier plan.

## La « Boeing French Team »

Boeing compte plus de cent fournisseurs français. Deux de ces entreprises ont récemment remporté le trophée « fournisseur de l'année » décerné par le constructeur américain. La première est Messier-Bugatti, en 2003. Ce fleuron de l'industrie hexagonale fournit des roues pour les trains d'atterrissage et des freins en carbone pour les moyen et long-courriers, 737, 767-200/300ER et 777. En 2005, c'était au tour de la société Radiall, spécialiste des produits de connectique, d'être distinguée. D'importants accords ont aussi été signés avec des partenaires français, notamment avec Hurel-Hispano, filiale de Safran, pour la fourniture de services de maintenance et de réparation et avec Liebherr-Aerospace, portant sur la fourniture d'un système de contrôle d'air pour son nouvel avion, le 747-8.

Dans le cadre du programme 787 Dreamliner, Boeing a placé la barre encore plus haut. Il s'est entouré des meilleurs industriels aéronautiques mondiaux, capables de lui apporter les technologies à la fois novatrices et éprouvées qui étaient nécessaires aux défis qu'il entendait relever, en termes de poids, de distance, de consommation, de confort et bien sûr de respect de l'environnement. Dans le cadre de cette approche privilégiant le « meilleur de l'industrie », huit fournisseurs français ont été sélectionnés pour ce programme dans des domaines clés comme les freins, la connectique, les trains d'atterrissage, les portes, sans oublier la conception d'ensemble, assistée par ordinateur, qui permet à chaque équipe, où qu'elle se trouve dans le monde, de travailler en temps réel sur le même document.

Dassault Systèmes fournit l'espace de développement virtuel 787 qui permet à Boeing de concevoir, créer et tester les différents aspects de l'avion et les processus de fabrication avant de passer à la phase de production proprement dite. Messier-Dowty a été retenu pour les trains d'atterrissage et Labinal pour le câblage. Thales est présent

à plusieurs niveaux dans le Dreamliner, en particulier dans le cockpit et en cabine, avec le système de divertissement.

En confiant à Latécoère la réalisation des portes passagers, Boeing réalise une première. Jamais par le passé il n'avait encore sous-traité une structure majeure de la cellule à un fournisseur français. Messier-Bugatti, Zodiac, Michelin et Donaldson-Le Bozec complètent l'équipe. Ces partenaires sont au cœur de la « Boeing French Team », comme la nomme Boeing, qui comprend d'autres noms prestigieux comme Radiall, Snecma, Deutsch, Liebherr-Aerospace, Lisi et Souriau.

La coopération transatlantique fonctionne parfaitement, non seulement au niveau des avionneurs, mais également à celui des motoristes. CFM International en est le plus brillant exemple. Cette société franco-américaine créée conjointement par le motoriste français Snecma et par le groupe industriel américain General Electric a vu le jour en 1974. Aujourd'hui, dans le monde, un avion propulsé par des moteurs CFM56 décolle toutes les trois secondes. Tous les dix jours, la flotte CFM totalise un million d'heures de vol supplémentaires. Fait remarquable, Boeing se trouve être le premier client de Snecma.

CFM International s'est positionné, à l'origine, sur le créneau des avions court et moyen-courriers qui représente 40 % du marché total. Il motorise les Airbus A320 et surtout, dès 1981 avec le lancement du 737-300, Boeing l'a choisi comme motoriste exclusif de sa famille 737. La société franco-américaine a développé une gamme complète de moteurs de différentes puissances. Le CFM56 est aussi monté sur les quadriréacteurs A340.

Dès sa création en 1974, CFM International a joué la carte écologique en se fixant pour objectif de produire un moteur 20 à 25 % plus économique que ce qui existait alors sur le marché et de 10 dB plus silencieux. En 2007, CFM a pour la première fois testé un biocarburant sur la dernière version de son CFM56.

## Consommation en baisse grâce à des moteurs plus économiques

Entre 1960 et 2000, la réduction de la consommation des moteurs des avions de ligne a été réduite de 60 %. Ramenée à une consommation en litre par kilomètre parcouru et par passager transporté, son niveau actuel est celui d'une automobile de tourisme. Ce résultat spectaculaire a été obtenu moins par le recours à des matériaux innovants qu'à l'introduction de nouvelles technologies. Le développement des moteurs à grand taux de dilution a, en effet, permis d'améliorer sensiblement le rendement propulsif. L'augmentation des taux de compression du moteur de 2,5 fois s'est traduite par des températures beaucoup plus élevées dans les turbines.

Les gains obtenus au niveau de la consommation de carburant ont une incidence immédiate sur la réduction des émissions de dioxyde de carbone et des hydrocarbures imbrûlés. La réduction des CO<sub>2</sub> est de l'ordre de 30 %. En revanche, l'augmentation de température de combustion des cycles génère plus d'oxydes d'azote. Néanmoins, sur les trente dernières années, les motoristes sont parvenus à réduire les émissions de NO<sub>x</sub> de l'ordre de 60 % grâce au développement de technologies de chambre de combustion et aux avancées réalisées dans le domaine proprement dit de la combustion, et en dépit d'une évolution antagoniste des cycles moteurs. En effet, les cycles à fort taux de compression dégagent beaucoup plus d'oxydes d'azote et sont plutôt favorables à la réduction des émissions des hydrocarbures brûlés.

## Le souci de la qualité de l'air au niveau du sol

Très tôt, les compagnies aéronautiques ont été amenées à intégrer la réduction des nuisances sonores dans leur activité quotidienne. Bien avant d'être confrontées au problème des

émissions de gaz à effet de serre, elles ont dû se soumettre à la réglementation édictée par l'Oaci. Dès 1968, l'Organisation internationale de l'aviation civile a, en effet, commencé à s'attaquer aux questions environnementales posées par l'aviation. Elle a adopté un certain nombre de normes et de pratiques recommandées (Sarp) sur les émissions et le bruit des aéronefs, dans le cadre des dispositions de la Convention relative à l'aviation civile internationale. Ces normes de plus en plus restrictives ont conduit à interdire de vol les avions les plus anciens puis, progressivement, les plus bruyants. Ces contraintes réglementaires ont un impact direct sur le renouvellement des flottes, comme l'aura, à terme, le cadre relatif aux émissions de gaz à effet de serre en cours d'élaboration par l'Oaci.

Initialement, l'Oaci s'est intéressée aux effets des émissions des moteurs au niveau du sol. C'est la raison pour laquelle, les normes de certification de moteurs d'aéronefs (annexe 16, « Protection de l'environnement », volume II, « Émissions des moteurs d'aviation » à la Convention relative à l'aviation civile internationale) s'attaquaient au problème de la qualité de l'air au voisinage des aéroports. C'est ainsi qu'elles prévoient des limites pour les émissions d'oxydes d'azote, d'oxyde de carbone et d'hydrocarbures non brûlés pour un cycle d'atterrissage et de décollage de référence, à moins de 915 mètres (3 000 ft) d'altitude. Les normes prévoient également des dispositions concernant la fumée et la décharge de carburant.

Bien que ces normes soient fondées sur le cycle d'atterrissage et de décollage d'un avion, elles contribuent dans une certaine mesure à limiter les émissions en altitude. En imposant une réduction des émissions d'oxydes d'azote dans les basses couches de l'atmosphère, la norme relative à ces gaz à effet de serre limite nécessairement leur impact en altitude. Cette norme a été adoptée pour la première fois en 1981, puis resserrée en 1993 lorsque l'Oaci a réduit les niveaux autorisés de 20 % pour les nouveaux moteurs certifiés.

En 1999, elle a encore été resserrée d'environ 16 % en moyenne pour les moteurs nouvellement certifiés. Le tout dernier examen des objectifs technologiques à moyen et à long terme pour les NO<sub>x</sub> doit être publié en 2008.

### Limitation réglementaire des émissions de gaz à effet de serre

L'Oaci étudie actuellement de nouveaux paramètres qui serviront à l'avenir à établir les restrictions relatives aux émissions à haute altitude, compte tenu des tendances de la technologie de réduction des émissions ainsi que du rendement global et de la productivité des appareils. Les oxydes d'azote seront directement concernés par ces restrictions. En revanche, l'Oaci a décidé de ne pas élaborer de norme propre pour le dioxyde de carbone. Elle estime en effet que la génération de ce gaz étant directement liée à la consommation de kérosène, les efforts de l'industrie pour réduire la consommation entraîneront une baisse directe des émissions de CO<sub>2</sub>. L'agence des Nations unies ne veut pas non plus affaiblir encore plus les compagnies déjà soumises à de très fortes pressions économiques contraignantes liées à la hausse du prix du pétrole. Le problème devrait donc, selon elle, se régler de lui-même. Elle a néanmoins accompagné cette décision d'une ensemble de recommandations qui relève du bon sens, à l'image de la première recommandation qui encourage les compagnies à exploiter les avions les plus économiques.

Portés par une croissance solide du trafic aérien et un emballement du prix du kérosène, les transporteurs sont poussés à renouveler plus rapidement leurs flottes pour tirer parti des progrès réalisés par les constructeurs et les motoristes et surtout pour tenter de contenir leurs coûts directs d'exploitation. Cette tendance s'est particulièrement exprimée au milieu des années 2000, avec la forte reprise du trafic.

Dans les semaines qui ont suivi les événements du 11 septembre 2001, lesquels avaient, eux-mêmes, amplifié la récession conjoncturelle du transport aérien amorcée quelques mois plus tôt, les compagnies ont retiré de leurs flottes des milliers d'avions, dans l'attente d'une reprise de l'activité. Quand le trafic s'est redressé, elles ont opté pour des avions plus récents plutôt que de remettre en service des avions de la génération précédente, devenus trop gourmands au regard des performances économiques désormais exigées dans ce secteur d'activité. Elles ont également anticipé les échéances à venir concernant plus particulièrement les restrictions opérationnelles des avions les plus bruyants. Il est démontré que la substitution d'un avion par un appareil plus récent, de la génération suivante, entraîne quasi automatiquement une réduction de plus de 20 % des émissions des CO<sub>2</sub>.

### Optimisation des flottes

Le renouvellement d'une flotte constitue un investissement lourd, le plus souvent étalé dans le temps. Néanmoins, les compagnies souhaitent pouvoir tirer parti sans délai des innovations qui peuvent leur permettre d'économiser sur leur consommation, voire temporiser. Des équipements d'insonorisation (*bush kit*) ont été mis au point pour permettre aux avions anciens rattrapés par les normes en matière de bruit de continuer à voler quelques années de plus, jusqu'à ce que le couperet tombe définitivement. D'une manière générale, les opérateurs ne se tournent pas vers leurs fournisseurs pour leur demander de les aider à contourner les obstacles réglementaires, mais au contraire pour leur permettre d'optimiser les performances d'appareils de la génération précédente.

Un avion, comme un moteur, a une durée de vie opérationnelle de l'ordre de trente à quarante ans. Compte tenu

de l'évolution de la réglementation environnementale et de l'inflation du prix du carburant, les compagnies aériennes attendent des avionneurs et des motoristes qu'ils leur proposent des solutions technologiques pour maintenir, le plus longtemps possible, leurs flottes à niveau. Les *winglets*, qui se généralisent, visent à optimiser le profil de l'aile en réduisant la traînée. Ces ailettes qui se positionnent verticalement, de part et d'autre de la voilure, permettent de réduire de 3 à 5 % la consommation, et donc d'atténuer les émissions de CO<sub>2</sub>. Les possibilités sont toutefois limitées.

Le consortium franco-américain CFM International, qui motorise notamment les Boeing 737 de nouvelle génération et les Airbus A320, vient de proposer un ensemble de mises à niveau de son réacteur CFM56. Dérivé du très prometteur programme de recherche Tech 56, ce kit baptisé « Tech Insertion » entraîne une réduction de 5 à 12 % des coûts de maintenance, de 1 % de la consommation de carburant et surtout de 15 à 20 % des émissions de NO<sub>x</sub>. C'est sur ce dernier point que réside en grande partie son intérêt. Grâce à cet ensemble, les moteurs d'ancienne génération, néanmoins performants, vont pouvoir se conformer aux normes environnementales de l'Oaci, et ainsi rester en service après 2008. Les autres motoristes proposent également à leurs clients des solutions pour leur permettre de continuer à exploiter leurs moteurs rattrapés par la réglementation.

En parallèle, Snecma et General Electric, les deux partenaires de CFM International, affinent leur programme Leap56 qui vise à réduire de 10 à 15 dB les émissions sonores par rapport au plus performant des moteurs actuels, à atténuer de 60 % des rejets de NO<sub>x</sub> par rapport aux normes environnementales et à baisser la consommation de carburant de 10 à 15 %. Le choix de l'architecture de ce futur moteur sera arrêté en 2010. En fonction des options retenues, l'entrée en service pourrait avoir lieu entre 2015 et 2018 sur les nouveaux moyen-courriers.

## Remise en question des modes opératoires

Cette recherche permanente de moyens techniques destinés à réduire les coûts et à se conformer aux nouvelles réglementations s'accompagne d'une remise en question profonde des manières de faire. Toutes les options conduisant à des économies d'énergie et donc à des atténuations des nuisances en tout genre méritent d'être étudiées, dès lors qu'elles ne remettent pas en cause le sacro-saint principe de sécurité. Parmi la série de recommandations de l'Oaci, plusieurs se rapportent directement à l'exploitation.

L'organisation encourage ainsi les compagnies à optimiser le remplissage des avions et à limiter les vols de mise en place à vide. C'est devenu une nécessité vitale et, d'ailleurs, les taux de remplissage n'ont jamais atteint de tels niveaux, de toute l'histoire de l'aéronautique. En 2007, Iata qui regroupe 240 compagnies dans le monde réalisant 94 % du trafic régulier, a enregistré un taux record de 77 % (la tendance reste vraie même si l'été 2008 a marqué un léger fléchissement). Ce résultat, le meilleur de tous les temps, est la conséquence directe d'une rationalisation des flottes, d'une optimisation des réseaux, mais aussi d'une politique commerciale dynamique qui repose sur le *yield management*, un système de gestion des capacités offertes qui fait ses preuves. Le coefficient de remplissage progresse désormais d'à peine plus de 1 % par an.

Les transporteurs sont amenés à jouer sur tous les tableaux. Ils deviennent en particulier de plus en plus attentifs à la masse de leurs appareils. Cette obsession, qui est celle des constructeurs aéronautiques depuis les origines de l'aviation, est aujourd'hui celle des opérateurs qui lancent des programmes de recherche d'économies de poids en sachant pertinemment que, dans ce registre aussi, les progrès ne peuvent se faire qu'à la marge. Un kilogramme gagné par siège permet néanmoins d'économiser jusqu'à 4 t de CO<sub>2</sub> par avion et par an.

## La prise de conscience des compagnies

Pendant des décennies, les attentions des transporteurs se sont portées sur d'autres aspects que celui de l'incidence de leurs choix esthétiques sur la masse de l'avion. Les avionneurs leur livrent des avions nus, dépourvus de tout aménagement intérieur. En fonction de son modèle économique (compagnie traditionnelle, *low cost* ou charter) et de son positionnement sur son créneau, chacun opte pour des équipements particuliers à travers lesquels il entend se démarquer de ses concurrents.

Les millions de dollars investis en recherche et développement par les constructeurs aéronautiques pour réduire la masse à vide de leurs avions ont, jusque dans un passé récent, été mis à profit par les compagnies pour offrir à leurs passagers, et en particulier à ceux de la classe affaires et de la première classe, toujours plus de confort et de service. Désormais, les gestionnaires des entreprises de transport aérien pèsent les options.

Pour les accompagner dans cette démarche, nouvelle pour la plupart d'entre elles, Boeing a créé la Dreamliner Gallery dans son usine d'Everett, près de Seattle. Il s'agit d'un véritable supermarché de 5 000 m<sup>2</sup> spécialisé dans l'aménagement intérieur du 787. Il y a là, exposés, différents modèles de sièges, de cuisines, d'équipements vidéo, de coffres à bagages, de luminaires... En un lieu unique, le constructeur propose un choix étendu. Il offre à la compagnie cliente le moyen de comparer. Boeing a ainsi pré-sélectionné sept modèles de sièges.

Jusque-là, lorsqu'elles abordaient la question de l'aménagement de la cabine de leurs avions, les compagnies aériennes étaient contraintes de mettre en concurrence les divers fournisseurs pour chaque type de produits. Ce fonctionnement, qui est encore aujourd'hui la norme, entraîne une perte de temps importante du fait de l'éclatement géographique de l'offre, des coûts élevés de déplacement,

des prix d'achat supérieurs et des risques de choix d'équipements longs et coûteux à certifier.

Boeing est le premier constructeur aéronautique à mettre en place un tel service, qui offre également aux clients des garanties de qualité et de prix. Les produits sélectionnés répondent tous à un cahier des charges strict qui porte notamment sur la masse. Un critère que les transporteurs n'ont plus les moyens de négliger.

### Des experts au service des transporteurs

Dans cette logique de réduction de la masse, les politiques d'emport de carburant tendent à se généraliser. Il s'agit d'optimiser les réserves embarquées afin d'éviter de transporter des kilogrammes de kérosène inutiles. Il est évident que cette rationalisation ne doit pas se faire au détriment de la sécurité qui demeure la priorité du transport aérien. La réglementation prévoit une marge de sécurité suffisante et surtout inaliénable pour faire face à tout aléa au cours du vol ou à l'arrivée. Il suffit de s'y tenir.

Un ensemble de procédures d'économies de carburant sont également préconisées par l'Oaci. Elles sont pour la plupart déjà entrées dans les pratiques courantes des compagnies, comme le roulage au sol sur un moteur. Les transporteurs ont édicté des procédures à l'attention de leurs pilotes afin que les avions circulent sur les aéroports, entre la piste et les aérogares, en utilisant un seul moteur. Cela permet de limiter la consommation.

Iata a également mis en place une équipe d'experts ingénieurs chargée d'aider les compagnies aériennes à optimiser la gestion du carburant de leur flotte et ainsi de limiter leurs émissions de CO<sub>2</sub>. Entre 2005 et 2007, soixante-dix audits ont été réalisés. Les gains d'économie qui en ont découlé vont de 2 à 14 %. C'est toutefois moins au sol qu'en vol que les gains les plus substantiels peuvent être

espérés. Chaque minute de vol gagnée permet d'économiser 160 kg de CO<sub>2</sub>.

Le choix d'une route plus directe, d'une vitesse plus économique ou d'un niveau de vol plus favorable permet de réduire sensiblement la consommation de kérosène et donc les émissions de gaz à effet de serre, particulièrement de dioxyde de carbone, là où l'altitude amplifie leur nocivité. Nous avons déjà évoqué le bénéfice apporté par le système de réduction de l'espacement entre les avions dans le plan vertical (RVSM, *reduced vertical separation minimum*) introduit sur l'Atlantique nord. L'optimisation des niveaux de vol entraîne une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> estimée à 1 million de tonnes par an. Ce système sera progressivement étendu à d'autres espaces aériens.

En 2007, à l'initiative d'Iata, 377 façons de réduire les routes ont été mises en œuvre et quatre-vingts aéroports ont amélioré la gestion du trafic aérien dans l'espace environnant. Au bilan, 30 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> supplémentaires ont ainsi été économisées. La mise en œuvre de nouvelles procédures d'arrivée sur les aéroports constitue également un gisement d'économie de carburant important et une réduction de l'empreinte environnementale significative, aussi bien au niveau des émissions de gaz à effet de serre que du bruit.

## Généraliser les descentes continues

Le principe consiste à effectuer une descente continue sous un angle moyen de 3° depuis le niveau de croisière jusqu'à la piste sans réaliser de palier intermédiaire. L'avion peut ainsi adopter un profil de descente naturel, à régime moteur constant et sans à-coups. Il reste plus longtemps plus haut et génère ainsi moins de nuisances sonores. Le gain est de l'ordre de 5 dB dans une zone située entre 20 et 50 km du seuil de piste où il est censé effectuer des

paliers et donc adopter un régime moteur plus élevé pour se maintenir en niveau de vol, en attendant d'avoir le feu vert des contrôleurs aériens pour poursuivre son approche finale.

La compagnie scandinave SAS a été l'une des premières au monde à expérimenter cette procédure. Elle a effectué plus de 2 000 atterrissages dits « écologiques » avec un Boeing 737. Chacun a permis d'économiser environ 150 kg de kérosène et 470 kg de CO<sub>2</sub>. Plus récemment, elle a testé la descente continue sur un vol long-courrier transatlantique opéré en Airbus A330. Le résultat est comparable. La compagnie a calculé que si elle pouvait généraliser cette procédure à l'ensemble de ses vols, elle économiserait 492 t de kérosène et 1 550 t de CO<sub>2</sub> par an. Les compagnies sont prêtes, la balle est dans le camp du contrôle aérien.

Aux Pays-Bas, Boeing est associé à KLM pour mener avec l'aéroport de Amsterdam-Schiphol et les autorités hollandaises du contrôle aérien des expérimentations en vraie grandeur d'arrivée en descente continue. Eurocontrol est également impliqué dans ces travaux.

En l'état actuel du découpage de l'espace aérien, ce type d'approche nécessite en effet une coordination entre différents centres de contrôle, difficile à obtenir. La solution au problème est une réorganisation des services de la navigation aérienne dans les zones terminales des aéroports. Après avoir testé avec succès cette procédure à Marseille, la France a entrepris de mettre en œuvre une réorganisation de ce type pour les aéroports parisiens. Elle se heurte à la résistance des contrôleurs aériens. Quoi qu'il en soit, cette évolution va dans le sens de l'intérêt des riverains et des compagnies aériennes, et d'une manière plus globale de la préservation de la planète. Elle doit se faire autant que la technologie le permet.

## Des gains potentiels au sol

L'aéroport est le pivot du transport aérien. Un passage obligé qui a été, jusque dans un passé récent, le point de friction entre l'industrie aéronautique et une partie de la population. Pendant des décennies, jusqu'à ce que le débat environnemental s'élargisse au réchauffement climatique de la planète, la perception de l'impact environnemental du trafic aérien s'est concentrée sur les émissions d'hydrocarbures et surtout sur le bruit. Le bras de fer était géographiquement localisé et opposait l'aéroport à ses riverains.

C'est la raison pour laquelle l'industrie aéronautique et les pouvoirs publics se sont d'abord attaqués à résoudre les problèmes posés par le développement du transport aérien à la périphérie des grandes plates-formes aéroportuaires. Les progrès ont été spectaculaires, tant du point de vue de la réduction de la pollution que de celui de l'instauration des conditions du dialogue entre riverains et gestionnaires d'aéroports.

Grâce à la mise en œuvre de nouvelles technologies et l'application de procédures spécifiques, le bruit est de plus en plus circonscrit à l'intérieur de la plate-forme aéroportuaire. L'enjeu désormais est de réduire globalement la signature environnementale des aéroports.

## Des progrès immédiats

Cet enjeu concerne tous les acteurs du transport aérien et pas seulement les gestionnaires des infrastructures. Des actions simples peuvent être mises en œuvre dès à présent avec à la clé des résultats immédiats. C'est, par exemple, la généralisation de l'alimentation des avions en énergie électrique qui supprime totalement les nuisances sonores et les émissions de gaz à effet de serre générées par les groupes fonctionnant au diesel. La résolution de ce problème est liée à la capacité d'investissement des aéroports.

La réduction de la consommation de carburant des avions lors de leurs déplacements au sol est un gisement important d'économies d'énergie et par voie de conséquence directe de nuisances diverses. En août 2008, Aéroports de Paris a mis en service une nouvelle voie de circulation avions située à l'est de l'aéroport Paris-Charles de Gaulle, entre La Galerie Parisienne et le futur Terminal régional. Baptisée Echo 4, elle permet à la fois de réduire le temps de roulage, le nombre d'arrêts ainsi que la consommation de kérosène des avions. Pour l'ensemble des compagnies aériennes opérant à partir du Terminal 2 la réduction du temps de roulage est d'environ 90 000 minutes (soit 1 500 heures) sur une année pleine, soit une économie d'environ 1,1 million de litres de kérosène par an.

De leur côté, les compagnies testent des procédures de roulage avec un seul moteur pour les avions les plus légers de type 737 ou A320. La mise en route au seuil de piste est également à l'étude. Cette manière de procéder permettrait de tracter l'avion à l'aide d'un équipement électrique. Il faudrait toujours « faire chauffer » les moteurs. Ces solutions, une fois validées, peuvent également être mises en œuvre rapidement et permettre de réduire une partie du gaspillage lié aux dysfonctionnements des infrastructures responsables du rejet de 73 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an. À plus long terme, la mise en place d'un nouveau système automatisé de gestion du trafic aérien permettra d'optimiser les temps de déplacement au sol, à l'arrivée comme au départ. Boeing développe une nouvelle technologie de gestion automatisée du contrôle aérien qui offrira une solution globale, comme nous le verrons plus loin.

L'aéroport est une unité de production en pointe du point de vue environnemental. Pour parvenir à apaiser ses relations conflictuelles avec ses riverains, il s'est engagé très tôt dans une démarche de développement durable qui intègre à la fois le volet environnemental, économique et social. La plupart des grands aéroports à travers le monde sont certifiés

ISO 14001 et ont mis en place un système de management environnemental qui vise à réduire au maximum leur empreinte environnementale. Ils maîtrisent leur consommation d'eau et d'énergie, et gèrent efficacement leurs déchets. C'est ainsi que la chaleur perdue issue de la centrale électrique de l'aéroport d'Heathrow est réacheminée vers le nouveau terminal 5, mis en service début 2008. Ce dispositif permet de subvenir à 85 % des besoins de chauffage du terminal 5, dont la capacité annuelle d'accueil est de 30 millions de passagers. Dans la même logique, les eaux de pluies sont récupérées en surface et en sous-sol pour alimenter le bâtiment en eau non potable, générant ainsi 70 % d'économies.

### Mieux tirer parti des avions intelligents

De leur côté, les constructeurs aéronautiques et les équipementiers ont développé des avions intelligents capables de dialoguer directement avec les systèmes des centres de contrôle sans intervention humaine. Le pilote et le contrôleur aérien sont là pour superviser les machines. La généralisation des suites avioniques et des commandes de vol électriques dans les cockpits garantissent un niveau de sécurité jamais atteint. Cette assistance au pilotage destinée à alléger la charge de travail des pilotes n'est pas utilisée au maximum de ses possibilités du fait des carences au niveau du sol. Le contrôle aérien doit se réorganiser en profondeur pour tirer parti des capacités existantes. La marge de progression est estimée à 12 %. Elle correspond au gain que représenterait le recours systématique à des routes directes, alors qu'actuellement les avions doivent zigzaguer d'un centre de contrôle à un autre.

Globalement, les progrès réalisés par l'industrie aéronautique aux cours des dernières décennies ont eu des répercussions significatives pour l'environnement. Entre 2000 et 2006, la modernisation de la flotte d'Air France a

entraîné une baisse de 12 % de la consommation de kérosène par passager. En 2012, la compagnie française vise une consommation de 3,7 l par 100 km et par passager (voir à ce sujet le Rapport Développement durable 2007-2008 du groupe Air France-KLM).

D'une façon plus générale, en termes de consommation, les avions qui entrent en service aujourd'hui sont 70 % plus performants qu'il y a quarante ans. Ils présentent une consommation de 3,5 l par 100 km et par passager. Le 787 passera en dessous de la barre des 3 l. Les émissions de CO<sub>2</sub> ont été réduites de moitié en quarante ans, celles de NO<sub>x</sub> d'autant en seulement quinze ans. Entre 1998 et 2004, le nombre de personnes exposées au bruit autour des aéroports a été réduit de 35 %.

Pour coller à la réalité, il faut admettre que ces progrès ont, dans un premier temps, été dictés par des considérations économiques. Il s'agissait d'abord de réduire la consommation pour réduire les coûts directs d'exploitation. Pour la conception de la flotte actuellement commercialisée, les préoccupations environnementales se résument à l'application de règles simples d'amélioration de masse et de performances aérodynamiques ; le niveau des nuisances sonores était constaté, une fois le produit développé.

Pour la génération à venir, des simulations plus précises d'impact de pollution et de bruit sont mises en œuvre dès la phase de conception préliminaire. Pour les flottes à venir, l'environnement sera pris en compte au même titre que la performance. Les méthodes de conception deviendront multidisciplinaires afin d'optimiser les avions en fonction de tous les critères : aérodynamisme, structure, bruit, pollution, dont les émissions. Ces nouveaux programmes devront également dès à présent se conformer aux objectifs des plans internationaux qui entendent régir l'industrie aéronautique. Quatre-vingts pour cent des avions qui voleront en 2020 n'ont pas encore été construits. Ils le seront donc selon ces nouveaux critères environnementaux.

## DES PISTES D'OPTIMISATION

Le transport aérien est un bon élève. Aux États-Unis d'Amérique, pays considéré comme le plus gros pollueur de la planète, entre 2000 et 2006, les compagnies aériennes ont réduit leurs émissions de gaz à effet de serre de 13 %. Dans le même temps, les rejets des voitures et des camions ont augmenté de 6 %. Les progrès accomplis par les transporteurs américains sont directement liés à une réduction de leur consommation de kérosène, en dépit d'une augmentation sensible de leur activité. En sept ans, ils ont parcouru 18 % de distance en plus, mais ils sont parvenus à réduire leur consommation au mile de 23 %. L'automobile n'a pas fait mieux que 2 %.

Il ne s'agit pas de montrer du doigt les mauvais élèves de la classe pour se dédouaner, mais simplement de voir la réalité en face, en dehors de toute polémique et de tout intégrisme. Aux États-Unis, où l'automobile occupe une place à part, la flambée du prix du pétrole a donné un coup d'arrêt à la vente des gros véhicules dévoreurs de carburant. Mi-2008, General Motors, premier constructeur automobile mondial, a annoncé la fermeture de quatre usines spécialisées dans le montage des 4 × 4 et SUV (*sport utility vehicle*) et la sortie, en 2010, de la Chevrolet Volt, une voiture 100 % électrique. Le géant américain opère un retournement spectaculaire. Les automobilistes américains deviennent sensibles au discours écologiste.

Si le transport aérien n'est pas le plus gros contributeur aux émissions de gaz à effet de serre, il est vrai aussi que ce secteur d'activité connaît une croissance forte. Si celle-ci se maintient sur la même pente ascendante (de l'ordre de 5 % en moyenne par an), son volume est appelé à doubler dans les vingt ans à venir. La prise en compte actuelle du problème vise tout simplement à permettre à l'aéronautique de continuer à se développer.

## Nécessité de faire face à la croissance à court terme

Comme nous l'avons déjà souligné, des progrès significatifs et sans équivalent dans d'autres secteurs ont été réalisés au cours de ces dernières années. Sur cette lancée, de nouvelles améliorations sont à attendre. En jouant sur les mêmes leviers que constituent notamment les matériaux, la combinaison d'une cellule innovante et de moteurs de nouvelle génération va constituer une avancée technologique. La future version du Jumbo Jet, le 747-8, émettra 16 % de CO<sub>2</sub> en moins que le 747-400 actuel et sera 30 % moins bruyante. C'est un fait.

À tous les niveaux, des progrès sont possibles. On estime que l'inefficacité des infrastructures aéroportuaires entraîne un gaspillage de l'ordre de 73 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Sans révolutionner le système de contrôle aérien, il serait également possible de réduire de 12 % les émissions de gaz à effet de serre. La technologie est présente dans les cockpits pour permettre d'optimiser l'existant, mais elle est sous-exploitée. À court terme, les challenges sont clairement identifiés. À moyen et plus long terme, il faut imaginer l'avion de demain et une autre manière de l'exploiter.

Avionneurs, motoristes, équipementiers, aéroports, compagnies aériennes, contrôleurs... se sont fixés des objectifs qui, en l'état actuel des connaissances et des savoir-faire, apparaissent inaccessibles. Pour arriver à zéro émission de CO<sub>2</sub> en 2050, comme le prône Iata, l'association qui regroupe l'ensemble des compagnies aériennes de la planète, il va falloir inventer un nouveau transport aérien. D'où la nécessité d'unir les forces et de tendre, tous ensemble, vers les mêmes objectifs.

Les performances des avions ont progressé de manière spectaculaire au cours des quarante dernières années. Elles seront encore optimisées avec la nouvelle génération d'appareils. Mais il semble que l'industrie ait atteint les

limites de la formule actuelle. Depuis les origines, les avions ont très peu évolué dans leur aspect général. Ils se composent d'un fuselage terminé par des empennages et de deux ailes sous lesquelles sont accrochés les moteurs. Pour décoller et atterrir, ils ont toujours besoin d'une piste de plusieurs kilomètres de long. Le moment est sans doute venu de remettre en question cette formule et d'envisager un avion révolutionnaire. C'est la raison d'être des grands programmes de recherche qui ont récemment vu le jour et qui mobilisent tous les acteurs du secteur.

### Des programmes ambitieux pour stimuler la recherche

L'Acare (Advisory Council for Aeronautics Research in Europe), le conseil consultatif pour la recherche aéronautique auprès de la Commission européenne, a été mis en place en juin 2001, suite aux recommandations du rapport « Vision 2020 » réalisé en janvier 2001 par un groupe de personnalités du secteur. Ce conseil, dont la vocation englobe tous les aspects du transport aérien et pas seulement l'environnement, a, dans un premier temps, confirmé les deux objectifs « Vision 2020 » qui visent à répondre aux besoins de la société en termes de transport aérien plus efficace, plus sûr et respectueux de l'environnement, et assurer la compétitivité de l'industrie aéronautique européenne. Acare a établi un agenda stratégique récapitulant l'ensemble des actions de recherche à mener pour permettre au système de transport aérien de relever les défis auxquels il aura à faire face d'ici 2020.

Parmi ces défis de grande ampleur, il y a bien évidemment la réduction des émissions gazeuses et du bruit à travers de nouvelles configurations d'aéronefs ou de nouvelles architectures d'ensembles propulsifs. Des objectifs chiffrés ont été avancés. La réduction visée de la consommation de carburant et des émissions de CO<sub>2</sub> est de 50 %, celle des

émissions de NO<sub>x</sub> de 80 %, celle du bruit perçu de 50 % (réduction de – 10 dB par mouvement). Il s'agit non seulement de réduire les nuisances sonores, mais également de les circonscrire à l'intérieur du périmètre de l'aéroport. Le but fixé est d'atteindre le niveau de 65 Lden (l'indice de bruit Lden représente le niveau d'exposition totale au bruit des avions en chaque point de l'environnement d'un aéroport, laquelle est exprimée en décibels) aux limites des aéroports. Il est demandé à l'industrie aéronautique de progresser de manière substantielle vers la fabrication, la maintenance et le recyclage.

Des objectifs élevés sont également fixés à l'organisation du contrôle de la navigation aérienne dans le but d'augmenter les capacités et la fluidité du système de transport aérien. Il s'agit plus précisément de permettre le triplement du nombre de mouvements en Europe et d'atteindre un niveau de ponctualité de 99 % des vols à l'heure à +/- 15 min, quelles que soient les conditions météorologiques. Le plan vise également à réduire le temps passé sur les aéroports avant le décollage à 15 min au maximum pour les vols court-courriers et 30 min pour les opérations long-courriers.

## Clean Sky

En 2007, dans le cadre du salon aéronautique du Bourget, l'Union européenne a lancé officiellement le programme Clean Sky destiné à doter l'industrie aéronautique des moyens pour atteindre les objectifs que lui a fixés le conseil consultatif Acare. Clean Sky réunit des partenaires publics et privés, soit au total 86 organisations issues de 16 pays, 54 entreprises, dont 20 PME, 15 centres de recherche et 17 universités. Il est doté d'un budget de 1,6 milliard d'euros dont 800 millions apportés par l'industrie.

Clean Sky s'appuie sur six domaines techniques – baptisés « démonstrateurs technologiques intégrés » dans le jargon communautaire – allant des moteurs à l'architecture même des aéronefs. Les six domaines autour desquels s'articule le plan sont : avion vert de transport régional, avion intelligent de transport à voilure fixe, hélicoptère écologique, moteur écologique, système de gestion du trafic aérien intégrant le paramètre environnemental et enfin éco-design, qui couvre la vie de l'avion, de sa conception à son recyclage, en passant par sa construction et sa maintenance. Dans chaque domaine, un évaluateur de technologie analysera les résultats des recherches, de la phase expérimentale au stade des démonstrations en vol. L'initiative Clean Sky reprend les objectifs chiffrés de l'Acare, à savoir la réduction, d'ici 2020, des émissions de CO<sub>2</sub> de 50 %, de celles de NO<sub>x</sub> de 80 % et de la pollution sonore de 50 %. En fait, Clean Sky concerne tous les domaines technologiques qui peuvent contribuer à atteindre ces objectifs.

Les émissions de gaz à effet de serre étant directement liées à la consommation de kérosène, la réduction de celle-ci est un passage obligé. Ce chantier implique de nombreux acteurs, la consommation d'un avion étant elle-même influencée par un ensemble de paramètres interactifs : la consommation des moteurs dans les différentes phases du vol, les performances aérodynamiques, la masse de l'avion, le mode opératoire, la gestion de l'énergie à travers un avion tout électrique.

### Créer des synergies

Il en va évidemment de même pour l'atténuation du bruit perçu à l'extérieur. Elle passe en premier lieu par la réduction du bruit émis par les moteurs, mais également par la réduction de tous les bruits aérodynamiques. La gêne

sonore peut également être minimisée par la recherche de nouvelles procédures de décollage, d'approche et d'atterrissage, et également de roulage. La masse de l'avion a aussi un impact sur le bruit. Plus l'avion est lourd, plus il a besoin d'énergie pour évoluer, que ce soit en vol ou au sol. Comme nous l'avons souligné plus haut, depuis des décennies, l'industrie aéronautique travaille déjà dans ce domaine et a obtenu des résultats concrets. Clean Sky apparaît d'une certaine manière comme le deuxième étage de la fusée, celui qui va propulser le transport aérien vers de nouveaux standards de bruit.

Clean Sky ouvre enfin un nouveau chantier, celui du cycle de vie écologique. À tous les stades de sa vie, l'empreinte écologique de l'avion doit être maîtrisée. Quatre phases sont distinguées : la conception, la production, l'exploitation et la sortie de flotte avec, pour cette ultime étape, le démantèlement, le recyclage, le réemploi, l'élimination et le stockage.

La prise en compte du cycle de vie de l'avion est une nouveauté pour l'industrie aéronautique qui, jusque-là, ne s'est en fait que peu préoccupée de cet aspect. Certes, les avionneurs et les motoristes sont engagés dans des démarches qualité et ont mis en place des systèmes de management environnemental à l'image de ce qui se fait dans l'industrie en général. Mais là, il s'agit une nouvelle fois de voir plus loin.

La prise en compte de la maintenance dès la conception, au moment du choix des options technologiques, est une nouveauté apparue avec le Falcon 7X de Dassault et le 787 Dreamliner de Boeing. Elle doit rapidement devenir le standard de l'industrie aéronautique.

Pour l'heure, la déconstruction des avions et le recyclage des composants n'est pas organisée. Une réflexion est lancée au sein de l'Afra (Aircraft Fleet Recycling Association, l'Association pour le recyclage des avions de ligne) créée en 2006, et dont Boeing est membre. Le recyclage est un

enjeu d'avenir. Sept mille deux cents avions devraient être retirés du service dans les vingt ans à venir.

## Coopération transatlantique

La connexion qu'ont lancée Américains et Européens par dessus l'Atlantique nord pour harmoniser leurs systèmes respectifs de contrôle aérien est également une entreprise de grande envergure. Ce programme baptisé Aire (pour Atlantic Interoperability Initiative to Reduce Emissions, soit en français programme atlantique d'interopérabilité visant à réduire les émissions) a pour but de rendre compatibles les deux systèmes de contrôle aérien actuellement en refonte de part et d'autre de l'Atlantique afin d'éliminer les risques de congestion de l'espace aérien et de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Aux États-Unis, le programme NextGen a pour finalité de réduire le bruit, les gaz à effet de serre et la consommation de carburant. Il vise aussi à équilibrer l'approche environnementale avec les autres objectifs sociétaux. En Europe, le propre Sesar s'inscrit dans le cadre du vaste projet de ciel unique européen.

Le programme Sesar (Single European Sky Air traffic Management and Research, soit Programme de recherche et de management du contrôle aérien du ciel européen) a, en effet, pour objet la modernisation du système de gestion du trafic aérien en Europe. Il s'agit du volet technologique de l'initiative « Ciel unique européen », lancée en 2004.

Le concept du ciel unique européen est un ensemble de mesures qui visent à répondre aux besoins futurs en termes de capacité et de sécurité aériennes. Ces mesures concernent à la fois le secteur civil et militaire et portent sur la réglementation, l'économie, la sécurité, l'environnement, la technologie et les institutions. Pour la Communauté

européenne, il s'agit de mettre fin à une organisation de la gestion du trafic aérien qui n'a pas évolué depuis les années 1960 et qui est en grande partie source de la congestion actuelle du trafic aérien. Sesar est l'outil qui vise à réformer en profondeur l'organisation du contrôle aérien en Europe afin d'améliorer la qualité du service rendu aujourd'hui et d'adapter la capacité aux volumes de demain.

### La refonte indispensable de la gestion du trafic aérien

Les perspectives de croissance du trafic aérien en Europe montrent que, d'ici 2025, le trafic sera amené à doubler, voire tripler dans certaines zones. Dans ce contexte, il paraît indispensable de moderniser les pratiques de gestion du trafic aérien qui reposent sur des infrastructures datant des années 1970-1980. En effet, depuis la mise en place des radars comme moyens de surveillance, le contrôle aérien n'a que très peu évolué : il reste dans une large mesure « artisanal » et repose entièrement sur la capacité individuelle des contrôleurs à gérer toujours plus de trafic en toute sécurité. C'est grâce à des augmentations importantes d'effectifs que la fiabilité et la sécurité du trafic aérien ont pu être maintenues sans changement des méthodes de travail.

L'objectif de Sesar est d'optimiser le trafic aérien et de le rendre plus sûr, par l'utilisation de nouvelles technologies de communication et de contrôle entre le sol et les avions. Il devrait être une première application du système européen de navigation par satellite Galileo. Il s'agit également de doter le ciel de l'Europe d'une infrastructure comparable au GPS (*global positioning system*) américain, tant pour augmenter sa capacité que pour tendre vers une globalisation de la gestion du contrôle aérien à l'échelle de la planète. Le GPS est opérationnel depuis 1995.

Sesar permettra par ailleurs de remédier à la fragmentation actuelle des systèmes employés par les prestataires de services de navigation aérienne en les faisant converger. Pour la Commission européenne qui l'a initié, ce projet industriel européen de haute technologie s'inscrit dans la lignée des grands programmes industriels Ariane ou Airbus. Sa réalisation doit se dérouler en trois phases.

### Un contrôle unifié pour un ciel européen unique

La première a été la phase de définition. Elle a été exécutée par un consortium regroupant des compagnies aériennes, des aéroports, des fournisseurs de services aériens et des associations de professionnels. L'objectif était d'élaborer en deux ans (2005-2007) la feuille de route du projet, comprenant la définition des technologies à déployer et l'organisation du programme. Elle a été cofinancée par la Commission européenne au titre des réseaux trans-européens, et placée sous la responsabilité d'Eurocontrol (Organisation européenne pour la sécurité de la navigation aérienne), qui en a apporté le financement complémentaire. Le budget pour cette phase a été de 60 millions d'euros.

Sesar est entré depuis 2008 dans la deuxième phase dite « de développement » (2008-2013), qui consiste à développer les technologies fondamentales conformément à la feuille de route. Une nouvelle structure, l'entreprise commune Sesar, a été créée. Elle a pour mission de coordonner la mise en œuvre du projet Sesar. Elle repose sur un partenariat privé-public entre l'Union européenne, Eurocontrol et l'industrie. Une trentaine d'entreprises composent le consortium industriel. Le montant de cette deuxième phase, estimé à 300 millions d'euros par an, sera réparti, à parts égales, entre la Commission, Eurocontrol et l'industrie. La phase de déploiement qui s'étendra de 2014 à

2020 reviendra largement au secteur privé, tant pour la mise en œuvre que pour le financement.

Actuellement, une cinquantaine de systèmes de navigation aérienne cohabitent en Europe. Les organismes nationaux de contrôle aérien ont été assemblés les uns aux autres, chacun conservant ses prérogatives. Il en résulte une inefficacité notoire qui se traduit par des allongements de temps de vol. Dans ce contexte, Sesar apparaît comme une opportunité de faire que les technologies de contrôle aérien puissent enfin évoluer de manière coordonnée, ce qui se traduira non seulement par une économie de temps et d'argent, mais surtout par un gain environnemental, notamment par une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre. Un tel système de nouvelle génération est devenu indispensable pour gérer la croissance du trafic aérien.

## Un système de navigation à l'échelle de la planète

L'objectif principal de Sesar (dont le coût total est estimé à 20 milliards d'euros) est donc d'harmoniser les technologies de navigation à l'échelon européen pour assurer la convergence entre les systèmes utilisés à présent et s'orienter vers un système de navigation de nouvelle génération basé sur deux, voire trois systèmes de navigation différents, mais unifiés d'un point de vue technologique. Le programme NextGen lancé par les États-Unis permettra la convergence à l'échelon mondial.

Il s'agit concrètement de développer les nouveaux systèmes de communication sol-bord en renonçant à l'utilisation de la radionavigation VHS. Cette évolution permettra le transfert direct des données entre les systèmes informatiques en renforçant la qualité et la sûreté du transfert de l'information, de rééquiper les avions en nouveaux systèmes de calcul de distance au sol ou de détection

des turbulences et, enfin, d'appliquer le système de navigation par satellite développé grâce à Galileo.

NextGen américain, comme Sesar européen, visent à offrir au transport aérien une plus grande flexibilité et une plus grande souplesse. Il s'agit d'ajuster l'espace aérien pour satisfaire la demande à venir et non pas, comme c'est le cas actuellement, de contraindre la demande à la capacité du système de contrôle.



## Chapitre

---

### Le saut technologique s'impose

Comme nous l'avons vu précédemment, au cours des cinquante dernières années, l'aéronautique est le secteur industriel qui a le plus innové. Les performances et la fiabilité des avions de ligne qui sillonnent le ciel de la planète en sont la preuve. Le niveau de sécurité atteint par le transport aérien aussi. La division par cinq de la consommation de carburant (par kilomètre et par passager) est également l'un des résultats les plus probants à mettre à l'actif des ingénieurs.

Cette réduction spectaculaire obtenue sur la durée n'a pas été réalisée de manière linéaire. Elle a d'abord été rapide dans les années 1960, avec un gain annuel d'environ 5 %. Elle s'est maintenue ensuite sur un rythme de 2 % par an dans les années 1980 pour se situer aujourd'hui à 1 %. Difficile, semble-t-il de faire mieux maintenant.

Constructeurs et motoristes annoncent que, dans les vingt ans à venir, la baisse se situera entre 20 et 25 %, c'est-à-dire qu'elle sera en moyenne annuelle de 1 %. En l'état actuel de la technologie et de leurs connaissances, les ingénieurs ne pourront pas faire mieux sans remettre en

question l'existant. Il faut désormais un saut technologique et cela est du ressort, non plus des bureaux d'études, mais de celui des laboratoires de recherche.

En Europe comme aux États-Unis, les pouvoirs publics ont décidé de donner une impulsion en favorisant le rapprochement des partenaires au sein de vastes programmes ambitieux. Il s'agit de créer des synergies et de focaliser les énergies sur des objectifs communs. Les industriels qui se sont impliqués en nombre dans ces programmes n'ont évidemment pas attendu cette impulsion publique pour s'engager dans la voie de la recherche et fédérer leurs partenaires. L'innovation technologique est le moteur de l'industrie aéronautique mondiale depuis l'origine. C'est encore plus vrai aujourd'hui.

Chaque année, en collaboration avec ses propres partenaires, le motoriste britannique Rolls-Royce investit environ 700 millions de livres en recherche et développement. Les deux tiers de ce budget sont consacrés à la réduction de l'impact environnemental et sont plus particulièrement centrés sur le bruit et les émissions. De son côté, le motoriste français Snecma (Safran) consacre près de 10 % de son chiffre d'affaires en recherche et développement. La valeur moyenne des budgets de R&D des acteurs du secteur. Pour sa part, le géant américain General Electric Aviation y consacre chaque année un milliard de dollars.

La balle est maintenant dans le camp des chercheurs.

## DÉFI ÉNERGÉTIQUE : LE CARBURANT DE DEMAIN

Avec la pression environnementale qui s'exerce sur le transport aérien, mais aussi du fait de la flambée du prix du pétrole dont on peut penser qu'elle est plus structurelle que conjoncturelle, la recherche d'un carburant de substitution au kérosène est devenue une priorité. Compte tenu des gains marginaux escomptés de l'ordre de 1 % par an, il n'est plus possible de se contenter d'optimiser la consommation pour réduire à la fois les émissions de gaz à effet de serre et les coûts d'exploitation directs. Il faut trouver un autre carburant, plus propre, plus économique et capable de répondre à un accroissement de la demande mondiale de l'ordre de 10 à 30 % d'ici la fin du siècle. Cela pose évidemment une série de problèmes.

### Recherche de compatibilité à court terme

Le premier est que ce nouveau carburant, pour être substituable sans délai, devra être compatible avec les avions actuels et ceux qui vont entrer en service dans les années à venir. Il devra posséder les excellentes caractéristiques thermophysiques du kérosène, notamment sa viscosité, son point de congélation bas ( $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) et sa remarquable stabilité thermique qui lui permet de conserver ses qualités jusqu'à des températures de l'ordre de  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Il devra être sûr, posséder un excellent bilan écologique et être économique à produire. Les spécifications de ce futur carburant devront être identiques au niveau mondial ; actuellement, seul le kérosène possède cette particularité. La multiplicité des paramètres qui entrent dans l'équation rend complexe sa résolution. Néanmoins, des options sont à l'étude dans les éprouvettes des laboratoires.

À court et moyen terme, la solution pourrait passer par la mise au point d'un mélange de kérosène et d'un carburant de synthèse. Il a l'avantage d'être compatible avec les moteurs existants. Il pourrait en outre continuer à assumer le double rôle de refroidisseur de l'huile moteur et d'hydraulique. Les premiers essais en vol ont été réalisés, en 2008, par Rolls-Royce et Airbus sur un A380 et par General Electric et Boeing sur un 747-400 de Virgin Atlantic. Deux options différentes ont été testées. Deux types différents de carburant synthétique, l'un à base de gaz naturel, l'autre à base de biomasse, ont servi à alimenter les réacteurs. Ces vols expérimentaux résument, dans les faits, l'alternative qui se présente actuellement aux chercheurs.

Continental Airlines a été la première compagnie américaine à s'engager dans la voie des biocarburants. Elle prévoit de réaliser, début 2009, des tests avec un Boeing 737 de nouvelle génération équipé de réacteurs CFM56 de CFM International. Dans les mois qui précéderont le vol, Continental, Boeing et GE (partenaire de Snecma dans CFM International) collaboreront avec un fournisseur de carburants. L'objectif est d'identifier les sources de carburants durables sans impact sur les récoltes vivrières et les ressources en eau, qui évitent les pratiques de déforestation et qui peuvent être produites en quantités suffisantes pour être utilisées dans le cadre du programme d'essais préparatoires. Ce programme, qui comprend des essais de performance des réacteurs au sol et en laboratoire, a pour but d'assurer la conformité aux très strictes exigences de sécurité et de performance des carburants dans le domaine de l'aéronautique.

## Carburants de synthèse

Les kérosènes de synthèse sont produits à base de charbon, de gaz naturel et de biomasse. Ceux à base de charbon ou de gaz naturel présentent des performances comparables à

celles du kérosène, et des caractéristiques identiques. Ils ont d'ailleurs été utilisés en Afrique du Sud sous embargo, pendant la période de l'apartheid. L'inconvénient majeur est que ces carburants synthétiques possèdent un mauvais bilan carbone du fait de leur procédé de fabrication. Selon qu'ils sont produits à partir de gaz naturel ou de charbon, ils génèrent de 1,5 à 1,8 fois plus de dioxyde de carbone par rapport au kérosène, obtenu selon le même procédé. Pour leur conserver un intérêt, il est indispensable de capturer les émissions de CO<sub>2</sub> lors de la production et de les stocker. Cette opération engendre évidemment des coûts supplémentaires, mais l'avantage de ces carburants synthétiques est leur disponibilité à court terme qui peut offrir dès à présent une alternative au kérosène.

C'est un carburant liquide dérivé du gaz (*gas to liquids*, GTL) de ce type, mis au point par Shell International Petroleum, qu'ont testé Airbus et Rolls-Royce, début 2008. Il s'agissait en fait, plus précisément, d'un mélange de GTL et de kérosène. C'est sous cette forme qu'il pourrait être appelé à être consommé en aviation. Un mélange à parts égales est d'ailleurs homologué. Mais il pourrait aussi se substituer complètement au kérosène. Ce qui ne pourra être le cas pour les biocarburants que lorsque plusieurs problèmes techniques auront été résolus.

L'un des principaux défis que les chercheurs doivent relever est la propension des biocarburants à geler aux altitudes de croisière habituelles des avions de ligne. Ce carburant manque également de stabilité thermique à l'intérieur du moteur. Toutefois, un mélange composé de 20 % de biocarburant et de 80 % de kérosène satisfait déjà aux exigences de la norme.

Ces problèmes techniques seront à plus ou moins brève échéance résolus, ce qui conduira à terme à la certification des biocarburants pour un usage aéronautique. Cela prendra du temps et, l'un dans l'autre, ce carburant alternatif ne peut apparaître comme un produit de substitution qu'à

moyen terme. Dans l'intervalle, il faudra également régler le problème de la production à grande échelle de la matière première végétale qui servira de base à la production de biocarburants. Cette étape constitue un enjeu sociétal.

### L'échec des biocarburants de première génération

Le développement de l'utilisation des biocarburants produits à partir de végétaux cultivés est en train de conduire le monde dans une impasse. La transformation de cultures vivrières en cultures énergétiques, conjuguée à la spéculation sur les denrées alimentaires de base, entraîne la flambée des prix de celles-ci. Les émeutes de la faim qui ont eu lieu début 2008 dans plusieurs pays d'Afrique sont un signal d'alarme. Cette crise qui tend à se généraliser à la plupart des pays en voie de développement, mais qui entraîne également une inflation des produits alimentaires dans les pays riches, est révélatrice d'un manque évident de discernement dans la manière d'aborder les problèmes environnementaux. La passion se révèle ici préjudiciable.

À ne se focaliser que sur un aspect de la question, on en arrive à dévoyer la résolution du problème. C'est malheureusement trop souvent le cas dans la manière d'aborder les questions environnementales. En faisant d'un problème une cause, on ne peut déboucher que sur des solutions extrêmes.

Aujourd'hui, l'aviation est dans le collimateur des pouvoirs publics sous la pression des organisations écologiques. Des mesures contraignantes sont à l'étude dans le but de réduire les émissions de gaz à effet de serre des avions et les nuisances sonores qu'ils génèrent. Beaucoup, dans l'industrie aéronautique, craignent que les taxes mises en œuvre et les pénalités économiques viennent amputer les fonds disponibles pour la recherche et le développement.

L'aéronautique a déjà démontré qu'elle était un secteur capable d'assumer ses responsabilités vis-à-vis de la société. La manière avec laquelle sont gérées les deux grandes questions de la sécurité et de la sûreté en est la preuve. La maîtrise de son impact environnemental est devenue, pour les acteurs de la filière, une préoccupation de premier plan. Sans nier l'ampleur du problème, il faut aussi relativiser son importance. L'aéronautique est loin d'être le plus gros pollueur de la planète. C'est pourtant le secteur d'activité sur lequel se focalise la pression la plus forte. C'est aussi celui qui investit le plus pour réduire son empreinte environnementale. Mais cela ne se sait pas. Aux professionnels de l'expliquer, mais aussi de prendre part au débat, d'autant que le moment est opportun.

### Opérer des choix avec discernement

L'utilisation à grande échelle de terres agraires pour produire, à l'aide de subventions, des végétaux destinés à devenir des biocarburants détaxés, s'avère être une aberration. L'émotion est mauvaise conseillère. Elle conduit à la destruction massive de forêts tropicales pour augmenter la surface des terres cultivables. Elle est la cause de sous-nutrition et de famine, en détournant des aliments de base pour en faire du carburant. Le remède s'avère en l'occurrence plus préjudiciable que le mal. La prise de conscience est effective, mais néanmoins tardive. Le préjudice est réel. Il est impératif de se poser la question le plus froidement possible en dehors de tout militantisme. C'est à cette seule condition que les biocarburants pourront apparaître comme une solution durable.

Aujourd'hui, continuer à produire de l'éthanol à partir de soja ou de maïs pour alimenter les moteurs des voitures particulières apparaît comme une absurdité. Pour toutes les raisons que nous avons déjà évoquées, et parce que le

rendement est très mauvais. Le problème est qu'une industrie s'est développée sur cette filière, notamment au Brésil, en Argentine et en Asie du Sud-Est et qu'il sera difficile de faire machine arrière, d'autant que la hausse du prix de pétrole entraîne logiquement un accroissement de la demande de bioéthanol avec, à la clé, une augmentation des prix.

Ce marché est porteur et suscite l'intérêt de grands groupes pétroliers et biotechnologiques. Mais il met aussi en lumière le manque criant de maturité environnementale des populations des pays riches qui, en toute bonne foi, sont convaincues d'adopter une attitude écologiste en remplissant le réservoir de leur véhicule de biocarburants sans se préoccuper de la manière dont il a été produit, sans voir qu'il affame les habitants des pays les plus pauvres, qu'il détruit la forêt amazonienne et, qu'en définitive, le bilan carbone est catastrophique. Ce raisonnement à court terme est dangereux. Il risque pourtant de se passer beaucoup de temps avant que ces produits énergétiques alternatifs soient abandonnés au profit de biocarburants de deuxième génération.

### Les biocarburants de future génération

L'industrie aéronautique a choisi de faire porter sa recherche sur ces nouveaux biocarburants, dérivés de végétaux non alimentaires, qui de surcroît ne nécessitent pas de terres cultivables pour leur production. C'est en particulier une priorité que s'est fixé Boeing avec, nous allons le voir, des expérimentations concrètes passionnantes avec certains de ses partenaires, y compris naturellement les compagnies aériennes. Certains végétaux présentent des rendements de l'ordre de 150 à 300 fois supérieurs à ceux du soja produit aux États-Unis ou du maïs du Brésil. Pour subvenir aux besoins des compagnies aériennes, c'est-à-dire pour produire un peu plus

de 3 milliards de litres de biocarburant par an à partir de soja, il faudrait mettre en culture une surface de 575 millions d'hectares, soit l'équivalent de la superficie de l'Europe. Il suffirait de 3,4 millions d'hectares, soit la surface de la Belgique, pour produire la même quantité de biocarburant à partir d'algues. Dès lors, les algues apparaissent comme une source importante de biomasse et de biocarburant. Ce n'est pas là leur seul intérêt.

## Les algues

Pour se développer, les algues n'ont besoin que de lumière du soleil, de CO<sub>2</sub> et d'eau. Les oligoéléments, le phosphate et l'azote accélèrent leur croissance naturelle. Il existe de nombreuses variétés d'algues, mais les plus adaptées à la production de biocarburant sont, semble-t-il, les algues vertes unicellulaires qui présentent un rendement élevé d'environ 40 000 l de biocarburant par hectare et par an.

Les algues étant principalement cultivées dans des systèmes d'étangs ouverts, leur culture présente l'intérêt de produire de l'énergie durable sans concurrencer l'agriculture. Des expérimentations de photobioréacteurs, des sortes de tubes à l'intérieur desquels pénètre la lumière, sont menées depuis plusieurs décennies et pourraient déboucher sur des productions industrielles, un peu partout dans le monde. Les algues présentent un potentiel important.

Elles incarnent aujourd'hui l'une des solutions les plus prometteuses en termes de biocarburants de deuxième génération. Mais elles ne sont pas les seules à offrir l'avantage de ne pas entraîner d'effets secondaires sur le climat au niveau de leur production. Le *Jatropha curcias*, qui prolifère notamment en Afrique subsaharienne, est en effet souvent présenté comme une alternative encore plus prometteuse.

## Le jatropha, la plante des déserts

Cette plante rustique du désert pousse en zone semi-aride et ne nécessite aucun entretien. Elle peut croître aussi bien dans le sable, dans un environnement salin ou dans des sols non fertiles, autant d'espaces où aucune autre espèce ne peut exister. Ce végétal malodorant et non comestible est très résistant. Il n'a d'autre utilisation pratique actuellement que de délimiter des parcelles de terrain. Il se développe indifféremment sous une lumière intense ou sous un soleil tamisé, et se propage rapidement sans être pour autant invasif. Un plant de jatropha peut vivre entre trente et cinquante ans. Sur la totalité de sa durée de vie, il produit des graines.

Cet oléagineux proche du ricin se présente sous l'aspect d'un petit arbre qui peut atteindre 5 m de haut et donner 2 à 3 kg de fruits par an, dont on tire une huile facile à transformer en biodiesel, à raison de 2 l de biocarburant pour 8 kg. Son rendement en diester est deux fois plus important que celui du colza. Il peut atteindre 1 900 l de diester par hectare. Des essais sont menés actuellement au Mali, en Tanzanie ou au Ghana sur des moteurs diesel. Les déchets issus de sa transformation en huile sont utilisables comme engrais.

Sa culture à des fins de biocarburant pourrait générer des revenus substantiels pour des pays déshérités. Dès lors, la notion de développement durable prend tout son sens. C'est dans ce contexte que Air New Zealand, en coopération avec Boeing, a décidé de tester un biocarburant à base de jatropha.

## Premiers essais aéronautiques du jatropha

Le jatropha répond en tout point au cahier des charges du transporteur, qui repose sur trois critères principaux. En aucun cas, ni dans sa nature, ni dans son mode de production,

la plante destinée à être transformée en biocarburant ne doit entrer en concurrence sur le plan alimentaire. Les caractéristiques du biocarburant issu de sa transformation doivent être au moins égales à celles du carburant actuel issu du pétrole. Elle doit permettre d'obtenir un carburant sensiblement moins cher et être disponible en quantité à court terme.

Avec ce végétal rustique, la compagnie néozélandaise affiche des objectifs ambitieux. En 2013, elle souhaite que les biocarburants représentent 10 % de sa consommation totale de carburant. Les premiers essais en vol du jatropha auront lieu fin 2008 avec un Boeing 747-400. La plante utilisée est produite dans le sud-est de l'Afrique (Mozambique, Malawi et Tanzanie) et en Inde. Le choix des pays d'origine répond à un ensemble de paramètres éthiques.

Dans un souci de favoriser l'émergence d'une production durable, Air New Zealand a retenu des pays qui lui garantissent que les cultures ne sont pas réalisées sur d'anciennes forêts ou des terres agraires. La compagnie s'est assurée également que les producteurs puissent répondre à sa demande tant qualitative que quantitative sur les cinq ans à venir. Le transporteur adopte une véritable démarche de développement durable. L'ensemble des intervenants de la chaîne de production et d'approvisionnement doit y trouver un intérêt.

À moyen terme, les biocarburants à base d'algues et de jatropha entreront dans la composition des futurs carburants aéronautiques. Ils ne pourront pas se substituer totalement au kérosène, parce qu'ils n'en posséderont pas les caractéristiques, notamment la capacité à rester liquide en dépit des très basses températures ( $- 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) qui caractérisent les niveaux de croisière des avions de ligne. Ils devront donc être associés à des carburants de synthèse produits à base de charbon ou de gaz naturel, sans jamais pouvoir dépasser 50 % du mélange final.

Les biocarburants ne peuvent constituer qu'une solution transitoire en attendant la mise au point d'énergies innovantes qui permettront d'atteindre l'objectif ambitieux de 0 g de CO<sub>2</sub> émis. C'est dans cette optique, que Boeing et Honeywell (à travers sa filiale UOP), en coopération avec les compagnies aériennes Air New Zealand, Continental et Virgin Atlantic ont créé, mi-2008, l'association Algal Biomass Organization (ABO) dont la finalité est d'accélérer le développement de nouveaux biocarburants à faible taux d'émissions de gaz à effet de serre.

### L'hydrogène liquide, une solution à très long terme

En l'état actuel des connaissances, les recherches se portent sur des carburants spécifiques, d'une part l'hydrogène liquide, d'autre part le méthane liquide. Le méthane, disponible à l'état naturel, pourrait également être utilisé pour la production d'hydrogène liquide.

Le recours à ce type de carburant implique de nouvelles motorisations, mais également une nouvelle conception de la cellule afin d'intégrer un réservoir suffisamment grand et parfaitement isolé. C'est à ce niveau que se situe le nœud du problème. Il a été résolu sur la navette spatiale américaine par le largage des deux immenses réservoirs, après le décollage, une fois la totalité de l'hydrogène liquide consommée. Ce n'est évidemment pas une solution envisageable en aviation commerciale !

Les chercheurs doivent donc inventer un nouvel avion doté d'une nouvelle cellule et d'une nouvelle motorisation. Mais ils doivent également concevoir le moyen économique et écologique de produire ce carburant, ainsi que les infrastructures nécessaires à l'approvisionnement, à l'échelle planétaire. L'hydrogène liquide constitue un challenge technologique pour les laboratoires de recherche et les constructeurs aéronautiques. Malgré les obstacles

techniques qui restent à surmonter, il apparaît comme une solution d'avenir.

L'hydrogène liquide a un contenu énergétique supérieur au kérosène (2,8 fois supérieur à poids égal), ce qui permet de réduire le poids au décollage ou d'emporter une charge marchande plus élevée. Le volume et l'isolation nécessaires à son stockage exigent une configuration sensiblement différente de l'avion et des changements majeurs dans les principes de conception actuels pour intégrer les composants du système d'alimentation en carburant, ce qui nécessitera un travail de recherche complémentaire et des essais précoces. Les plus grandes quantités d'eau rejetées (2,8 fois celles du kérosène) exigeraient aussi une étude soigneuse des caractéristiques et de la formation des traînées de condensation par des essais en vol.

Au début des années 2000, l'Union européenne a lancé un projet de recherche sur l'emploi de l'hydrogène liquide comme carburant de substitution au kérosène en aviation. Cette étude baptisée Cryoplane a permis de mieux cerner le problème. Elle a globalement mis en lumière que l'hydrogène produit à partir de sources d'énergie renouvelables pouvait donner une chance à l'aviation de poursuivre sa croissance à long terme sans dégrader l'atmosphère.

## UNE GESTION DIFFÉRENTE DU TRAFIC AÉRIEN

Le plus court chemin d'un point à un autre est la ligne droite. Cette notion élémentaire de géométrie échappe aux systèmes de gestion de la navigation aérienne qui régissent le contrôle du ciel, ou plus exactement qui ont autorité sur des morceaux de ciel qui s'imbriquent les uns aux autres pour former l'espace aérien dans lequel se déplacent les avions. Chacun est maître chez lui. Personne ne possède une vision d'ensemble.

Cette fragmentation tridimensionnelle dresse des obstacles artificiels et impose aux avions un cheminement segmenté, de points de report en points de report. Ces passages obligés correspondent à des entrées et des sorties de zones soumises à autorisation. Le trafic s'y concentre pour être mieux séparé. Ailleurs, le ciel est vide.

### La remise en question des couloirs aériens

Le contrôle en route des avions volant en vitesse de croisière dans l'espace aérien supérieur se fait à l'intérieur de couloirs qui mènent d'un point de report à un autre. Leur tracé est dicté par un ensemble de contraintes telles que l'organisation au niveau national de l'espace aérien, la position des zones militaires, ou encore la non-concordance des divisions verticales de l'espace aérien suivant le territoire national survolé. Le système de contrôle aérien du ciel européen se divise en vingt-six sous-systèmes, composés eux-mêmes de cinquante-huit centres de contrôle en route. Plus de 25 000 avions se croisent chaque jour dans cet enchevêtrement appelé « ciel européen ». Pour une superficie identique, les États-Unis ont trois fois moins de centres.

L'organisation du transport aérien aggrave encore cette situation. En choisissant de bâtir des réseaux en étoile à

partir de plates-formes de correspondances, les compagnies aériennes concentrent volontairement leur trafic sur les plus grands aéroports pour optimiser le remplissage de leurs avions. Aux heures de pointe, les pistes sont rapidement saturées et les contrôleurs doivent jouer avec la seule variable d'ajustement à leur disposition. Ils espacent les atterrissages en imposant des circuits d'attente et décalent les décollages. Au final, les retards s'accumulent. En partant du fait que chaque minute de vol supplémentaire alourdit la facture de 160 kg de CO<sub>2</sub>, il est évident que ce fonctionnement a un coût économique et environnemental.

Le système mondial de gestion du trafic aérien est quasiment saturé. En optimisant l'existant, il est possible de gagner environ 12 % de capacité supplémentaire. En exploitant mieux les systèmes embarqués à bord des avions de dernière génération, il sera également possible de repousser les limites. Mais face au doublement prévu du trafic d'ici à 2020, il est urgent d'envisager des solutions radicalement nouvelles. À ce niveau aussi, une rupture technologique s'impose. Elle passera logiquement par une utilisation des satellites.

## La généralisation de la navigation par satellites

Pour introduire des systèmes avancés de communication, de navigation, de surveillance et de gestion du trafic aérien, l'Oaci envisage en effet de passer progressivement de l'infrastructure de navigation terrestre actuelle à une utilisation accrue d'une infrastructure de navigation par satellites. Le GPS américain est déjà utilisé en Europe, notamment à bord de nombreux avions, comme moyen de répondre aux exigences RNAV (*basic area navigation*) qui permettent de réduire l'espacement vertical entre les avions à l'intérieur d'un même couloir. Le contrôle aérien

est un domaine dans lequel les prises de décisions sont longues et la mise en application encore plus. L'exemple du RNAV est de ce point de vue révélateur.

C'est vers la fin des années 1970 que l'Oaci a lancé un vaste programme d'études de la faisabilité d'une réduction de l'espacement vertical au-dessus du niveau de vol FL 290, soit environ 9 500 m d'altitude. L'objectif était de ramener l'espacement vertical de 2 000 ft (660 m) à 1 000 ft (330 m), identique à celui qui est utilisé au-dessous du FL 290. Les compagnies aériennes étaient alors confrontées à l'augmentation du coût du carburant. Cette réduction de l'espacement allait dans le sens d'une meilleure efficacité de l'exploitation de l'espace aérien disponible.

Il aura fallu attendre jusqu'en 1997 pour qu'une première évaluation opérationnelle soit lancée sur l'Atlantique nord et encore, sur une bande d'altitude limitée, comprise entre les FL 330 et 370 inclus. Elle sera ensuite étendue entre les niveaux FL 310 et FL 390. En Europe, la mise en œuvre se révélera plus délicate du fait de la complexité de la structure des routes sur le continent, de la grande diversité des types d'aéronefs, de la forte densité du trafic et du pourcentage élevé d'aéronefs en montée ou en descente. Le RVSM est appliqué dans l'espace aérien européen depuis début 2002 seulement. L'Asie sera la prochaine étape. Il aura fallu trente ans pour apporter une réponse à ce problème.

### La remise en question des prérogatives nationales

L'extrême lenteur avec laquelle sont traitées les questions de contrôle aérien ne s'explique pas seulement par des considérations de sécurité. Les obstacles techniques à la mise en œuvre des systèmes sont moins ardues à surmonter que les difficultés d'ordre organisationnel et financier que les États doivent résoudre. Sauf quelques rares exceptions, la mise en

œuvre et l'exploitation des principaux éléments des systèmes de contrôle de la navigation aérienne exigent une coopération internationale qui se heurte, encore trop souvent, aux protectionnismes nationaux et au corporatisme qui se dissimulent derrière des écrans sécuritaires. Cela est d'autant plus paradoxal que les constructeurs aéronautiques mettent à la disposition des compagnies aériennes des avions dont elles ne peuvent pas tirer tout le parti.

Le contrôle aérien est à la veille d'une révolution technologique comparable à celle vécue par les pilotes de ligne il y a une vingtaine d'années, avec l'introduction dans les cockpits de systèmes automatisés rendant possible le pilotage à deux. Malgré l'opposition des syndicats de pilotes et leurs craintes pour la sécurité des vols, le pilotage à deux est admis aujourd'hui par tous et pour tous les avions, même pour le plus gros-porteur civil jamais construit. À leur tour, les contrôleurs aériens doivent se préparer à faire leur entrée dans l'ère numérique.

### Le contrôle aérien en quatre dimensions

Boeing a élaboré un système d'approche sur mesure qui permet d'optimiser les arrivées. Il s'agit là d'une réponse à une demande forte des compagnies. Actuellement, les avions rejoignent leurs aéroports de destination par des descentes entrecoupées de paliers systématiques, avant d'être placés sur des circuits d'attente par les contrôleurs dans la perspective de l'autorisation de se poser. Cette procédure devenue standard allonge la durée de vol, augmente la consommation de carburant, accroît les nuisances sonores aux abords des aéroports et génère des émissions supplémentaires de gaz à effet de serre. Le système sur lequel travaillent Boeing et ses partenaires repose sur une transmission de données depuis le centre de contrôle vers un avion en approche, dès qu'il est prêt à entamer sa descente,

à un peu plus de 200 km de la piste. Le sol adresse à l'avion un profil de vol en quatre dimensions, intégrant le temps. Une fois prise en compte par l'équipage, la trajectoire optimisée est entrée dans le système de gestion du vol (*flight management system* ou FMS) à travers un simple clavier. Le FMS pilote ensuite l'avion jusqu'au toucher des roues sur la piste.

Les ordinateurs du centre de contrôle aérien calculent et soumettent la trajectoire optimale, en fonction du trafic local, des conditions météorologiques, du relief, des restrictions environnementales et des performances de l'avion. Le profil est une descente continue sans paliers. L'avion reste haut le plus longtemps possible et descend le plus rapidement au régime moteur le plus bas. Le système d'approche sur mesure est couplé au système RNAV de séparation vertical qui évite aux pilotes d'avoir à se reporter sur des points de passage imposés. Cette procédure innovante permet d'augmenter la capacité de l'espace aérien, de respecter les horaires, de réduire la consommation de carburant et donc l'émission de gaz et de nuisances sonores. Elle allège la charge de travail du contrôleur ainsi que celle des pilotes. La navigation par satellites, la simplification de l'espace aérien, les systèmes de transmission des données et la gestion des trajectoires en 4D intégrant le paramètre temps sont les caractéristiques fondamentales de la prochaine génération du système de gestion du trafic aérien, qui reposera sur le principe du « contrôle des exceptions ». C'est sans doute à ce niveau que se situera le changement le plus fondamental pour les contrôleurs aériens.

## Le contrôle des exceptions

Actuellement, le contrôleur est au cœur du système. C'est lui qui sépare les avions en leur imposant des niveaux de vol et des trajectoires spécifiques. Pour pallier tous les

dysfonctionnements du système, il est appelé à opérer avec d'importantes marges de sécurité en entourant chaque avion d'un espace tampon. La productivité de cet opérateur dépend d'un ensemble de paramètres comme les pourtours de son secteur, le volume de la zone et de ses propres capacités à gérer simultanément et en sécurité un nombre donné d'avions. Selon ce mode de fonctionnement, les délais ne peuvent qu'augmenter plus rapidement que le trafic.

Maintenir une séparation suffisamment importante entre les avions ne peut évidemment pas prendre en compte l'évolution du trafic. Augmenter le nombre de contrôleurs et réduire la taille des secteurs à contrôler ne garantit en rien un renforcement de la sécurité, ni même de la capacité ou de la productivité des contrôleurs. En automatisant cette fonction de séparation, il devient possible de densifier le nombre d'avions à l'intérieur d'une même zone de contrôle. Le système anticipe les conflits, c'est-à-dire les rapprochements d'avions. Bien qu'il conserve une vision de l'ensemble des avions, le contrôleur pourra se concentrer uniquement sur les vols susceptibles de poser un problème. Le système permet une meilleure utilisation de l'espace et renforce la productivité des contrôleurs. Cette réorganisation implique une interopérabilité totale de la gestion du trafic aérien, à l'échelle de la planète.

La plupart des moyens technologiques nécessaires pour parvenir à cette globalisation sont déjà disponibles à bord des avions modernes, mais ils sont sous-employés. Aux États-Unis, le programme Gati (Global Air Traffic Interoperability), initié par l'administration fédérale de l'aviation civile (FAA) et dont le chef de file est Boeing, a pour objectif de réussir cette mutation. En Europe, l'Air Traffic Alliance, qui réunit EADS, Airbus et Thalès, vise le même objectif. Un accord de coopération a été mis en place en 2003.

## Boeing et Airbus s'engagent

Aujourd'hui plusieurs programmes complémentaires sont menés de front de part et d'autre de l'Atlantique. Ils s'appellent Sesar (Single European Sky ATM Research), Cames (Cooperative ATM Measures for European Single Sky), Emoasia (European Model for ATM Strategic Investment Analysis), NGATS (Next Generation Air Traffic System), Gati (Global Air Traffic Interoperability)... Entre Européens et Américains, la concertation est permanente sur la question.

Au printemps 2008, en marge du troisième sommet de l'Aviation et de l'Environnement de Genève, Boeing et Airbus ont signé un accord de coopération dont le but est d'assurer l'interopérabilité mondiale de la gestion du trafic aérien (ATM, Air Traffic Management) et contribuer à réduire l'impact de l'aviation sur l'environnement. L'objectif des deux sociétés est d'accélérer la démarche d'amélioration du système de management du transport aérien afin d'en accroître l'efficacité et d'éliminer le problème d'encombrement du trafic.

Même si la vision de ces deux acteurs majeurs de l'industrie aéronautique peut diverger sur certains points, notamment sur la question spécifique de l'avenir du segment du marché des gros-porteurs, tous deux s'accordent sur le doublement du trafic dans les vingt ans à venir. En s'engageant à coopérer dans la recherche de solutions technologiques au problème de la gestion du trafic aérien, ils démontrent qu'ils partagent le même objectif de réduction de l'impact environnemental de l'aviation. La technologie et l'innovation sont des facteurs clés qui permettront d'y parvenir et d'accroître l'éco-efficacité de l'aéronautique.

Cette coopération entre Airbus et Boeing, dont le but est d'aider l'industrie aéronautique et les gouvernements à adopter les solutions les plus efficaces pour la mise en

place d'un système optimisé de gestion du trafic aérien, s'inscrit dans le cadre d'une initiative basée sur trois grands principes permettant d'améliorer les performances environnementales de l'aviation. Les deux autres principes sont la concurrence, moteur majeur des avancées environnementales et technologiques donnant lieu à de nouveaux programmes d'avions tels que l'A380 d'Airbus et le Boeing 787, et une stratégie d'alignement de l'industrie sur les politiques environnementales appropriées.

Un système optimisé de gestion du trafic aérien peut largement contribuer à la réalisation des objectifs fixés par l'Acare (réduction de 50 % des émissions de CO<sub>2</sub> et de 80 % des émissions de NO<sub>x</sub> d'ici 2020). Le recours à des itinéraires optimaux, une meilleure gestion des arrivées et un contrôle de la vitesse permettra de réduire sensiblement les retards et les temps de vol, d'où des économies de consommation de carburant et une réduction des émissions. De telles améliorations de la gestion du trafic aérien constituent des opportunités majeures pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> à court terme.

Les systèmes actuels de gestion du trafic aérien ne sont pas en mesure de travailler en réseau. Entre les centres de contrôle, l'échange des informations est toujours vocal. Le challenge est de parvenir dans les plus brefs délais à une transmission de données numériques pour augmenter l'efficacité et la capacité.

## PENSER LE CYCLE DE VIE

L'empreinte environnementale d'un avion persiste au-delà de son exploitation en ligne. Elle se dessine également bien avant son entrée en service opérationnel sous le pavillon d'une compagnie aérienne. Comme tout produit industriel, son cycle de vie s'ouvre dans les ateliers du constructeur, longtemps avant le premier vol, et s'achève avec son démantèlement des mois, voire des années après sa sortie de flotte. La prise en compte du recyclage des avions de ligne est relativement récente.

Le stockage prolongé dans les déserts américains ou sur les aéroports, à l'écart du trafic, s'est révélé une situation d'attente qui dure. La destruction a d'abord été un moyen d'éliminer, purement et simplement, des épaves encombrantes, sans autre but que de faire de la place. La notion de déconstruction est arrivée dans un second temps avec la prise en compte des aspects économiques et environnementaux, et avec l'émergence de problèmes de sécurité liés à la remise en service d'équipements. Cette activité se structure actuellement.

### Émergence d'une filière de recyclage

Sous l'impulsion des deux grands constructeurs aéronautiques, la filière de recyclage s'organise autour de techniques spécifiques et de la volonté d'établir un code de bonne conduite. Au milieu des années 2000, Airbus et Boeing ont respectivement initié Pamela et Afra, deux associations professionnelles destinées à fédérer les acteurs sur des objectifs communs. Le but est de doter l'industrie aéronautique des moyens de faire face à l'ampleur du défi qu'elle doit relever.

Selon les estimations, dans les vingt ans à venir, 7 000 à 8 500 avions seront retirés du service et devront être déconstruits. Mais d'ores et déjà, un peu partout dans le

monde, plusieurs centaines d'appareils sont en attente de traitement. Le challenge est d'éviter que ces milliers d'unités se transforment en épaves et s'accumulent sur des aires de stockage non appropriées ou deviennent des réserves illégales de pièces détachées. Le recyclage des avions est en passe de devenir une spécialité professionnelle à part entière. Un vrai métier...

### Déconstruction dans un cadre agréé

La déconstruction d'un avion doit être réalisée selon un schéma logique et rigoureux que souhaite promouvoir notamment l'Afra (Aircraft Fleet Recycling Association, Association pour le recyclage des flottes d'avions). Cette association œuvre pour que les opérations de déconstruction des avions soient gérées dans un cadre normatif de maintenance aéronautique (agrément, Part 145). Les processus de dépollution et de déconstruction ne doivent pouvoir s'effectuer que dans des ateliers agréés qui seuls ont accès aux dossiers des constructeurs pour garantir une sécurité optimale.

Une excellente connaissance de l'architecture de l'appareil et la maîtrise de techniques adaptées sont indispensables pour atteindre un taux élevé de valorisation des déchets. Ce chantier complexe commence par la dépose des pièces détachées et la dépollution de l'avion avant qu'il soit découpé et que les matériaux soient broyés et triés.

Les avions actuellement traités datent des années 1970, une époque où la notion de recyclage n'avait pas encore cours, pas plus en aéronautique que dans tout autre secteur, d'ailleurs. Malgré cette réserve, 80 % des matières premières qui composent l'appareil sont valorisés. Les 20 % restants sont essentiellement des matériaux composites. Leur recyclage constitue un challenge d'avenir, d'autant que leur proportion n'a cessé d'évoluer pour atteindre 50 %

dans les avions de nouvelle génération, à l'image du 787 Dreamliner de Boeing. C'est également l'approche d'Airbus avec le projet de l'A350.

### Le défi des matériaux composites

Comme nous l'avons déjà souligné, la fibre de carbone et, d'une manière générale, les matériaux composites occupent une place de plus en plus importante au détriment de l'aluminium dans la construction des cellules des avions de ligne. Les opérations de récupération et de recyclage des matériaux deviennent de ce fait plus complexes et, surtout, beaucoup plus techniques. La difficulté du recyclage du carbone est liée au fait qu'il est mis en œuvre avec d'autres matériaux. Il est donc nécessaire pour le traiter de connaître le pedigree du composite, de savoir en particulier quelle résine a été utilisée, s'il y a présence de composants chimiques retardant la transmission de la combustion et idéalement de connaître les spécifications de la fibre originale. Il faut ensuite séparer les composites des autres matériaux par un procédé mécanique. C'est enfin seulement que la fibre peut être traitée. Afin d'optimiser ces opérations, Boeing a intégré le recyclage des matériaux composites au stade de la conception du 787, bien que le problème ne doive pas se poser avant trente à quarante ans. Le constructeur américain a d'ailleurs signé en juillet 2008 avec l'industriel italien Alenia un accord visant à la création de la première unité de recyclage de composites en Italie, en collaboration avec Milled Carbon (Birmingham, Royaume-Uni), Karborek (Puglia, Italie) et ENEA (Italie). Cet ensemble implanté dans la région de Puglia, près des installations d'Alenia Aeronautica, aura une capacité de traitement de 1 100 tonnes de déchets composites par an.

L'enjeu est important. Il apparaît en effet que la fibre de carbone recyclée possède des propriétés comparables, voire

supérieures à celles de la fibre originelle. Toutefois, par précaution, le carbone recyclé n'entre pas encore dans la production d'éléments structurants. Il pourrait être utilisé à l'intérieur des cabines, dans la fabrication des cloisons ou des coffres à bagages. Pour l'heure, les fibres recyclées se retrouvent essentiellement hors de l'aéronautique, dans les pneus, le ciment, etc. Des recherches sont menées pour reconstituer le fil et ainsi obtenir un matériau vierge avec toutes ses capacités. Dans le domaine de la valorisation des composites, et en particulier de la fibre de carbone, l'industrie en est à ses premiers pas. Les perspectives sont immenses.

### Des moteurs recyclés à 99 %

Le recyclage des moteurs est également une préoccupation. Cette question est prise en compte par les motoristes au stade de la construction. C'est ainsi que 97 % des matériaux qui composent le célèbre moteur CFM56, dont la première version est apparue il y a une trentaine d'années, sont recyclables. Les 3 % restants sont des composites qui font actuellement l'objet d'études afin d'atteindre l'objectif remarquable de 99 % de matériaux recyclés. Cette question du recyclage des matériaux se pose également en amont, au moment de la construction de l'avion.

Entre le poids de la matière première mise en œuvre et le poids de la pièce finie, l'écart est d'environ 60 %. Autrement dit, la production d'une pièce génère environ 60 % de déchets, qui sont entièrement recyclés. Ils entrent notamment dans la production d'alliages. Cela implique un tri méticuleux des copeaux métalliques, une opération qui entre dans une démarche environnementale plus globale, s'inscrivant dans la norme ISO 14001.

L'industrie aéronautique s'est engagée depuis plusieurs années dans cette voie de la normalisation environnementale de ses activités. Même si les Européens font figure de

précurseurs, la norme ISO 14001 gagne du terrain dans le monde entier. Après celui d'Everett, l'ensemble des sites de production du groupe Boeing sont en passe d'être certifiés. Les grands donneurs d'ordres entraînent dans leur sillage leurs sous-traitants. À terme, l'ensemble des intervenants de l'industrie aéronautique adoptera cette démarche qui repose sur une remise en question quotidienne de la manière de faire et des process de fabrication. Elle va de pair avec l'élimination des gaspillages.

### La suppression des gaspillages

Le recyclage en amont n'est évidemment pas une fin en soi. C'est au contraire la conséquence de la production de déchets. L'idée est de parvenir à réduire au maximum les déchets, à tous les stades de la construction des avions et des moteurs, pour éviter d'avoir à les recycler. C'est dans cette logique que Boeing a instauré dans ses usines une gestion au plus juste des produits chimiques utilisés pour la fabrication des avions. En optimisant au maximum le processus, il a été possible de connaître précisément la quantité nécessaire et d'éviter les gaspillages. Cet exemple peut être décliné à tous les niveaux.

La gestion des matières premières est un domaine dans lequel l'industrie aéronautique obtient des résultats concluants. Elle sera encore optimisée dans les années à venir avec la généralisation des nouveaux outils de gestion du cycle de vie des produits. Développés en France par Dassault et utilisés pour la première fois sur le programme Falcon 7X d'avions d'affaires, ces outils informatiques, regroupés sous le terme générique de PLM (*product life management*), permettent de prendre en compte tous les aspects de la vie d'un avion, à tous les stades de son évolution.

En anticipant une maintenance qui interviendra au terme de plusieurs milliers d'heures de vol, il est possible de

faciliter le travail du mécanicien qui devra la réaliser, en implantant différemment un élément, par exemple. La puissance de cet outil est extraordinaire. Elle ouvre des possibilités insoupçonnées jusqu'à aujourd'hui. Elle constitue également une grande avancée en matière de développement durable par le simple fait qu'elle permet une optimisation de la construction, de l'exploitation, de la maintenance, jusqu'au recyclage. Boeing a fait appel au système PLM de Dassault pour le programme 787 Dreamliner.

### Le contrôle des équipements prélevés

Il est un autre aspect de la fin de vie des avions qui demande une attention toute particulière. C'est celui de la remise en service des pièces prélevées sur les appareils en cours de démantèlement. Cette activité, si elle n'est pas correctement encadrée et contrôlée au plan mondial, peut donner naissance à des filières occultes destinées à alimenter un marché parallèle de distribution de pièces détachées d'occasion sans garantie. La tentation peut être grande pour certaines compagnies aériennes peu scrupuleuses de s'approvisionner en pièces bon marché, sans attacher d'importance ni à la provenance, ni au potentiel restant.

Le problème existe déjà dans certaines parties du monde, mais il pourrait prendre une nouvelle ampleur avec le remplacement d'avions d'une vingtaine d'années par des appareils neufs de même type. Un Boeing 777 et des Airbus A320 ont été démantelés récemment. Ces sorties anticipées de flottes d'appareils modernes ne peuvent que stimuler le marché des pièces détachées. C'est la raison pour laquelle les professionnels réunis au sein de l'Afra sont favorables à la mise en place d'un cadre réglementaire.

Pour des raisons de sécurité, les pièces détachées doivent être déposées dans un cadre de maintenance aéronautique Part 145. C'est le moyen de garantir que la dépose

de ces éléments est effectuée aux normes et dans le respect des règles de l'art. C'est l'assurance du respect des recommandations des constructeurs.

C'est aussi un moyen de garantir une traçabilité quant aux essais en atelier, aux révisions et au remontage sur un autre avion. C'est le seul moyen de garantir les normes de sécurité.

## RÉVOLUTION TECHNOLOGIQUE

« Prendre l'avion » n'est plus une aventure. En quelques décennies, l'avion est devenu un moyen de locomotion fiable, confortable et sûr, qui a bouleversé la manière de voyager en réduisant les distances. Il a progressivement offert une nouvelle façon d'appréhender le monde. Il a rapproché les continents. En une cinquantaine d'années, l'aviation est devenue indispensable à la marche de la Terre.

À l'échelle de l'humanité, il est possible de parler de révolution. Mais singulièrement, le vecteur de ces changements, s'il a évolué, n'a pas pour autant été remis en question. L'avion est devenu plus performant, mais il demeure le même avec son long fuselage de section ovoïde, ses ailes en croix, sa queue et ses réacteurs accrochés sous les ailes. Il est évident qu'un océan d'innovations technologiques sépare le premier quadriréacteur 707 des années 1950 et le 787 du début des années 2000. Il est acquis aussi que les constructeurs aéronautiques ont atteint la limite de la formule, et qu'ils ne peuvent plus tableer désormais que sur des progrès à la marge. Pour atteindre les objectifs qui lui ont été fixés, l'industrie aéronautique est contrainte, dorénavant, de sortir du cadre pour inventer de nouvelles solutions. Elle doit imaginer un avion qui n'existe pas encore.

### Inventer la machine volante de 2050

Là où est rendue l'aviation, ce challenge peut apparaître illusoire. Comment est-il possible, en l'état actuel des connaissances, d'affirmer que l'avion de 2050 sera silencieux et volera sans rejeter de gaz à effet de serre, sans passer pour un utopiste ? Eh bien, osons-le. Le moteur de l'aviation n'est-il pas, depuis les origines de l'homme, l'utopie ? Et il ne faut pas remonter à Icare ou à Léonard de Vinci pour s'en convaincre...

En 1901, Orville Wright affirmait à son frère Wilbur que l'homme ne volerait pas avant un demi-siècle. Cette conviction n'a pas découragé pour autant les deux pionniers. Deux ans plus tard, les frères Wright réalisaient le premier vol de l'histoire de l'humanité. En cette journée historique du 17 décembre 1903, qui, parmi les témoins réunis sur cette plage de Caroline du Nord, aurait pu imaginer que cinquante ans plus tard, un quadriréacteur capable de transporter deux cents passagers entre les États-Unis et l'Europe décollerait de Seattle ?

À quoi ressemblera l'aviation dans cinquante ans ? Toute réponse définitive serait hasardeuse, mais en sachant quels sont les objectifs auxquels elle devra répondre, des esquisses peuvent être tracées, d'autant que des éléments de réponse se trouvent dans les ordinateurs des bureaux d'études des constructeurs et des motoristes, mais aussi dans les laboratoires de recherche chargés d'imaginer l'avion de demain.

L'hypothèse de base demeure la même. L'avion devra être toujours plus léger pour limiter la consommation de carburant (quel que soit celui-ci, d'ailleurs, en 2050) et pour supprimer son empreinte environnementale. Il devra glisser dans l'air en générant le moins de traînée, c'est-à-dire en offrant le moins de résistance possible. La masse et la traînée sont les deux paramètres qui influencent la puissance nécessaire. L'énergie dont il aura besoin, aussi limitée soit-elle, devra être propre. Son mode de propulsion devra être écologique. C'est un nouveau paramètre qu'intègrent aujourd'hui ingénieurs et chercheurs. C'est aussi pour eux une nouvelle façon de travailler.

## Une nouvelle manière d'imaginer le futur

Pour la conception de la flotte actuellement commercialisée, les préoccupations environnementales des constructeurs et des motoristes se résument à l'application de

règles simples d'amélioration de masse et de performances aérodynamiques. Le niveau des nuisances sonores n'était constaté qu'une fois le produit développé. Il devait néanmoins répondre à des normes précises. Pour la prochaine génération d'avions, des simulations plus précises d'impact de pollution et de bruit sont mises en œuvre dès la phase de conception préliminaire ; la conception reste néanmoins principalement guidée par la performance aérodynamique classique.

Pour les flottes à venir, celles qui entreront en service à partir de 2020, toutes les disciplines, dont celle de l'environnement, seront prises en compte. Les méthodes de conception deviendront multidisciplinaires afin d'optimiser les avions en fonction de tous les critères : aérodynamique, structure, bruit, pollution – dont les émissions. C'est selon ce principe que travaille le Bauhaus Luftfahrt.

Cet institut allemand réunit des acteurs de l'industrie aéronautique et des pouvoirs publics. Son approche est fondée sur des équipes pluridisciplinaires aux origines les plus diverses. Les scientifiques côtoient les économistes, les ingénieurs et les concepteurs. Leurs travaux portent actuellement sur un programme en trois parties. Ils s'efforcent de détecter les évolutions économiques et techniques du futur. En parallèle de cette veille technologique, ils travaillent sur un avion hybride : baptisé Hyliner, il a pour objectif de réduire à la fois le bruit et la consommation de carburant, tout en préservant la capacité de transport.

## Les laboratoires d'idées

La vocation du Bauhaus Luftfahrt est aussi de mettre en relation les équipes d'ingénieurs, de scientifiques et de chercheurs au sein du Creative Engineering and Networking Environnement for Aeronautics (Cenea), un groupe innovant de mise en réseau. L'objectif est d'exploiter les

ressources intellectuelles de différentes disciplines, en vue de travaux de recherche et de développement concertés. L'enjeu est tel et les objectifs fixés si ambitieux qu'il faut dépasser les clivages. Pour réussir, l'industrie aéronautique doit mettre en place des coopérations.

Chacun à son niveau doit mener ses propres recherches dans son domaine de compétence, mais il est indispensable qu'à un moment une mise en commun des résultats ait lieu pour aller encore plus loin. C'est le cas, en particulier, en ce qui concerne l'intégration du système de propulsion à la cellule. Jusqu'à présent, les moteurs viennent s'ajouter à l'avion. Dans le futur, ils feront corps avec, dans le but d'augmenter l'efficacité, mais aussi dans la perspective d'une utilisation différente. L'Hybird du Bauhaus Luftfahrt, avec ses hélices intégrées permettant un décollage quasi vertical, est une illustration de la voie à emprunter.

Il est évident que la ligne des avions est appelée à évoluer de manière significative. Il est encore trop tôt pour esquisser la géométrie du successeur du 747. Boeing explore différentes pistes, sans s'en interdire aucune. Dans le domaine militaire, l'une des études les plus avancées porte sur une aile volante d'une envergure de 75 m. Cette formule permet de réduire de manière significative la traînée et d'économiser jusqu'à 20 % de carburant. Une maquette aérodynamiquement semblable a volé en 2007. L'évolution des connaissances en matière de matériaux composites, ainsi que les nouvelles capacités de simulation peuvent donner sa chance à cette option.

### Des arbitrages nécessaires

Si l'aile volante est un concept qui a déjà été essayé avec plus ou moins de succès par le passé, en revanche d'autres approches beaucoup plus révolutionnaires sont proposées par des laboratoires de recherche. Des engins expérimentaux à

ailes rhomboïdales ont été testés. Ils présentent des apparences radicalement nouvelles, voire étranges... Des projets d'avions suborbitaux capables de voler à cinq fois la vitesse du son sont également à l'étude.

Aucune piste ne doit être négligée. La devise des pionniers de l'aviation était : « Osez ». Aujourd'hui, l'industrie aéronautique doit oser, d'autant qu'elle maîtrise les outils de simulation qui lui permettent de le faire sans risques.

De leur côté, les motoristes ont sérié le problème en se fixant trois échéances successives. À court terme, il s'agit d'optimiser la technologie existante. À moyen terme, il convient de valider des pistes innovantes. À long terme, il faut soutenir la recherche pour atteindre le but ultime. Toutefois, à échéance intermédiaire, des arbitrages sont nécessaires. L'exemple de l'*open rotor* est significatif de ce point de vue.

L'*open rotor* n'est pas une technologie nouvelle. Elle est apparue dans les années 1980. Schématiquement, il s'agit d'un turboréacteur dont la soufflante n'est pas carénée. Les ailettes sont apparentes. Ce principe permet de réduire la consommation, et donc les émissions de gaz à effet de serre de l'ordre de 20 %. En revanche, l'absence de carénage entraîne de fortes nuisances sonores. Les motoristes – Snecma, General Electric et Rolls-Royce en tête – ont décidé de relever le défi et projettent de faire tourner sur des bancs d'essais des prototypes d'ici à 2012. À cette échéance, cinq autres démonstrateurs devraient également être testés. Ils s'inscrivent dans le projet « Sustainable and Green Engines » du programme Clean Sky qui regroupe les motoristes européens et qui s'appuie sur des programmes européens antérieurs. À plus long terme, il s'agit de travailler à partir d'une feuille blanche, sans *a priori* et en intégrant, en particulier, de nouvelles énergies.

À travers cet exemple, il apparaît clairement qu'il est illusoire de chercher à réduire simultanément et dans des

proportions comparables à la fois les émissions de gaz à effet de serre et les nuisances sonores générées par les moteurs. Les ingénieurs doivent savoir quel objectif ils doivent privilégier : le bruit ou les émissions. C'est une manière politiquement incorrecte de poser le problème, mais les faits sont têtus. Il arrivera un moment où, les options étant optimisées à l'extrême, l'un ou l'autre devra être privilégié. Il est évident que cet arbitrage dépasse les constructeurs aéronautiques et les motoristes. Il est d'abord politique.

### Étapes de transition

Ces choix sont d'autant plus délicats à opérer qu'ils doivent l'être dans un environnement technologique évolutif. Les carburants alternatifs, qu'ils soient bio ou synthétiques, par exemple, ne constituent qu'une transition. À l'échéance de 2050, l'énergie utilisée conditionnera les performances, mais également la technologie des modes de propulsion et l'architecture des cellules. L'avion formera alors un tout, et c'est la raison pour laquelle les programmes de recherche les plus ambitieux associent des ingénieurs et des chercheurs d'horizons les plus divers qui tendent tous vers le même but.

Si la démonstration est faite que l'hydrogène est une solution d'avenir, les avions devront être radicalement différents, comme nous l'avons déjà souligné. Mais l'hydrogène n'est pas la seule piste étudiée. Début 2008, une équipe de chercheurs de Boeing a fait voler un avion léger biplace équipé de piles à combustible. Ce n'est pas une technologie nouvelle. Les premières piles à combustible ont, en effet, été développées pour alimenter les capsules Gemini dans les années 1960. Cette technologie n'est pour autant pas maîtrisée à l'échelle industrielle.

## L'avion électrique

Une pile à combustible est un dispositif électrochimique qui permet de convertir directement de l'hydrogène en électricité et en chaleur, sans aucune combustion. Ces piles n'engendrent pas d'émissions dans l'atmosphère et s'avèrent plus silencieuses que les moteurs actuels fonctionnant avec les hydrocarbures. Elles permettent donc d'économiser du carburant et sont plus respectueuses de l'environnement.

Le démonstrateur Boeing utilise un système hybride de batterie lithium-ion/pile à combustible à membrane d'échange de protons (PEMFC) pour alimenter un moteur électrique couplé à une hélice classique. La pile à combustible fournit la puissance nécessaire à la phase de vol en croisière. Au décollage et à l'atterrissage – les deux phases qui nécessitent le plus de puissance –, le système puise dans les batteries légères lithium-ion. Les essais en vol ont démontré pour la première fois qu'un aéronef piloté peut conserver son niveau de vol avec des piles à combustible comme seule source d'énergie. Boeing n'envisage pas encore d'assurer l'alimentation principale des futurs avions de ligne avec des piles à combustible, mais des démonstrations telles que celle-ci contribuent à ouvrir la voie à des applications possibles à bord de petits aéronefs pilotés ou non. Cela permet aussi d'acquérir une expérience pratique qui vient compléter d'autres études sur les piles à combustible actuellement réalisées dans l'entreprise.

Les chercheurs de Boeing ont également identifié des types de piles à combustible tout aussi prometteurs. Par exemple, la pile à combustible à oxyde solide pourrait être utilisée dans les systèmes de génération électrique secondaires, comme les groupes auxiliaires de puissance (APU). Cette technologie devrait être suffisamment mature dans dix ou quinze ans pour envisager son utilisation à bord des

avions de transport commercial. C'est un premier pas vers l'aviation électrique...

Les essais sur les piles à énergie solaire s'inscrivent également dans cette logique. Les performances obtenues par les chercheurs sont encore modestes, mais les quelques chevaux-vapeur du Flyer des frères Wright ont débouché quelques décennies plus tard sur des réacteurs de plusieurs centaines de tonnes de poussée. Il faut croire en l'avenir.

## *Conclusion*

---

Dans un avenir relativement proche, les transports connaîtront donc des évolutions technologiques majeures. Nous sommes en effet entrés dans une ère nouvelle. Jusque-là, l'essence bon marché n'a pas favorisé les ruptures technologiques. Aujourd'hui, le temps des lobbies défendant les modèles existants est totalement révolu et de nouvelles évidences s'imposent désormais à nous.

D'ici une cinquantaine d'années, les réserves de pétrole seront sensiblement amoindries. Dans le même intervalle, nous aurons dû éliminer les émissions de CO<sub>2</sub> liées à nos activités. Sous la pression forte et absolument justifiée des jeunes générations, c'est là le défi majeur de ce début de 21<sup>e</sup> siècle.

Nous n'avons pas le choix. Nous devons réussir. Alors que 600 millions de véhicules circulent dans le monde en 2008, nous savons que ce nombre atteindra près de 3 milliards en 2050 selon le FMI. Le volume des passagers aériens va quant à lui passer de 2,1 milliards actuellement à 4,5 milliards en 2025.

Dans l'immédiat, nous sommes confrontés à une accélération sans précédent de l'augmentation du coût des carburants. En un an, le prix du baril de brut a plus que doublé pour atteindre, fin juin 2008, 136 dollars (il se situait aux environs de 50 dollars en janvier 2007). Il pourrait atteindre 200 dollars à terme. Cette équation est dramatique pour tous les modes de transport, et plus particulièrement pour le transport aérien.

Dans ce contexte, les pertes des compagnies, notamment de celles qui n'ont ni rigueur de gestion, ni flotte moderne, peuvent devenir abyssales. La consolidation du secteur est inévitable. Surcharge du coût du carburant, hausse du prix des billets, gestion drastique des lignes en exploitation... sont inévitables face à ce qui n'est plus un choc pétrolier, mais un séisme. Le transport aérien ne peut néanmoins pas se satisfaire de ces mesures d'urgence. Il doit trouver des réponses à la hauteur de l'enjeu afin de faire face à la demande croissante, tout en conservant des prix de billets abordables.

La réussite historique du lancement du 787 Dreamliner de Boeing et son succès auprès des compagnies aériennes sont révélateurs de l'impératif absolu de modernisation des flottes.

Les recherches poussées sur les nouveaux carburants sont prometteuses. Mais répétons-le encore une fois, dans ce domaine spécifique, il faut faire preuve de vigilance et d'attention pour que les biocarburants ne concurrencent pas les productions agricoles indispensables pour nourrir les populations.

Et il est tout aussi évident qu'au milieu du 21<sup>e</sup> siècle, l'aéronautique aura très certainement changé d'ère. La recherche est en marche. Ce qui peut paraître encore utopique aujourd'hui donnera naissance demain à des innovations stupéfiantes qui permettront au transport aérien de relever l'immense défi auquel il est confronté.

En 2050, les voyageurs se déplaceront sûrement dans de drôles de machines. Il faudra qu'ils se rappellent alors que la prise de conscience de la société et les performances remarquables de l'industrie auront permis de préserver les équilibres majeurs de la planète.

Soyons optimistes. Les ruptures technologiques du demi-siècle qui s'ouvre permettront la naissance de nouveaux modes de transport dans une Terre sauvegardée.

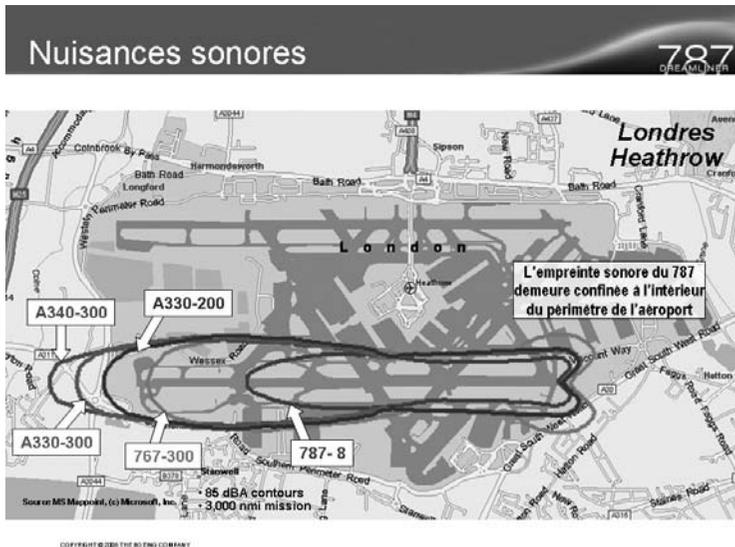


# *Annexes*



## Annexe 1

# Empreinte sonore



La cartographie de l'empreinte sonore des avions au décollage illustre parfaitement les progrès accomplis par les constructeurs aéronautiques et les motoristes. Au fil des générations, la zone de nuisance s'est rétrécie. Elle recouvre

aujourd'hui les abords immédiats des aéroports, dans la plupart des cas occupés par des installations industrielles et peu d'habitations. L'empreinte sonore du 787 se concentrera à l'intérieur des grandes plates-formes aéroportuaires que le dernier-né de Boeing est appelé à fréquenter. La valeur de référence de l'énergie sonore dégagée au décollage est de 85 dB. Elle est comparable au bruit émis par le passage d'un camion, perçu du bord de la chaussée.

## *Annexe 2*

---

### Grenelle de l'environnement

Dans le cadre des travaux du Grenelle de l'environnement, le ministre d'État a réuni les principaux acteurs français du transport aérien le 12 octobre 2007 pour évaluer la situation du secteur par rapport aux enjeux du développement durable. Trois sujets majeurs ont été identifiés :

- ◆ les émissions de gaz carbonique et leur impact sur le changement climatique ;
- ◆ les émissions d'oxydes d'azote et leur impact sur la qualité de l'air local ;
- ◆ les nuisances sonores que subissent les riverains.

Le constat a été fait que le développement du transport aérien et de ses infrastructures était économiquement et socialement souhaitable, mais qu'il ne pouvait s'envisager qu'en maîtrisant ses impacts environnementaux.

Tous les acteurs partagent la volonté de prendre en charge l'ensemble de ces enjeux, comme en témoignent les progrès très importants déjà obtenus par les constructeurs et opérateurs dans le passé. Les propositions et les objectifs

ambitieux qu'ils ont retenus pour l'avenir attestent de leur volonté d'agir ensemble à tous les niveaux de la filière du transport aérien.

Les engagements pris à cette occasion ont fait l'objet d'une convention dont la finalité est d'organiser le suivi de leur réalisation.

Ces engagements, pris par les signataires à l'échelle nationale, ne préjugent pas des conclusions de la démarche d'élaboration de la Charte de développement durable de l'aéroport de Paris-Charles-de-Gaulle engagée à la demande du président de la République.

Ils seront amendés et complétés à cette occasion par les partenaires concernés.

### *1. Réduire les émissions des nouveaux avions*

À l'horizon 2020, la recherche aéronautique poursuit des objectifs très ambitieux ayant pour but de réduire les incidences environnementales des nouveaux avions :

- ◆ réduire la consommation de carburant et les émissions de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) de 50 % par kilomètre et par passager ;
- ◆ réduire les émissions d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) de 80 % ;
- ◆ réduire le bruit perçu de 50 %.

D'importants programmes de recherche s'engagent, avec notamment le programme Clean Sky (qui représentera un montant global de 1,6 milliard d'euros, dont la moitié financée par les industriels participants) et sous l'égide du Conseil consultatif pour la recherche aéronautique en Europe (Acare), regroupant tous les acteurs du transport aérien : industriels, compagnies aériennes, aéroports, établissements de recherche, Commission européenne, États membres de l'Union européenne, Eurocontrol, Easa.

Le programme Clean Sky (2008-2014), dans lequel les industriels français sont fortement engagés en nombre

(Airbus, Dassault, Eurocopter, Safran, Thales, parmi les sociétés leaders) et qu'ils cofinancent sur leurs budgets propres, situe ses ambitions à mi-parcours des objectifs Acare, avec : une réduction de 20 à 40 % du gaz carbonique émis, de 40 % des oxydes d'azote et une réduction de 30 à 50 % du bruit.

La réussite des programmes européens devra s'adosser sur des programmes nationaux ambitieux qui :

- ◆ préparent les ruptures technologiques de demain en explorant des voies nouvelles (acoustique ou aérodynamique avancée, nouveaux concepts de motorisation, de cockpit, avionique de cabine...);
- ◆ assurent que l'ensemble du tissu industriel français, incluant les PME, est à même de contribuer à l'effort d'innovation (nouveaux matériaux pour l'allègement des structures, systèmes innovants pour la gestion de l'énergie à bord...).

La réalisation de ces objectifs est au cœur de la stratégie des principaux industriels de la construction aéronautique, qui ne ménageront pas leurs efforts pour y parvenir.

La France a doublé en 2008 ses aides à la recherche aéronautique, et envisage de poursuivre cet effort dans les années à venir.

## ***2. Créer un Conseil pour la recherche aéronautique civile française***

Sur la base d'un travail préparatoire, associant l'ensemble des composantes du transport aérien, piloté par un représentant de l'industrie désigné en accord avec le conseil du Gifas (Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales), et dont le secrétariat sera assuré conjointement par la DGAC et le Gifas, un Conseil pour la recherche aéronautique civile française sera mis en place.

Les travaux préparatoires débuteront début février 2008. Les conclusions finales seront rendues au mois de

mai et présentées à des personnalités de haut niveau qui se réuniront sous la présidence du ministre d'État, du ministre de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables. À cette occasion, le Conseil pour la recherche aéronautique civile française sera installé.

En rassemblant tous les acteurs (industriels, compagnies aériennes, aéroports, centres de recherche, DGAC), il établira les objectifs assignés aux différents intervenants de la recherche aéronautique civile française, proposera une feuille de route pour les dix prochaines années, et prendra les mesures nécessaires à sa mise en œuvre concertée. Il rendra compte, chaque année, au ministre d'État de l'état d'avancement des travaux de recherche et des progrès réalisés par rapport aux objectifs à atteindre.

Un Conseil pour la recherche aéronautique civile, regroupant l'ensemble des acteurs français du secteur sur le modèle de l'Acare européen, sera installé par le ministre d'État d'ici le mois de mai 2008. Ce Conseil devra définir et mettre en œuvre les actions de recherche et d'innovation technologique à entreprendre pour atteindre les objectifs de la présente convention.

### *3. Poursuivre la modernisation des flottes*

Vingt pour cent des appareils les plus anciens sont responsables de 60 % des émissions. Un tel constat montre l'importance de la modernisation des flottes des compagnies pour réduire les émissions du secteur.

Le groupe Air France-KLM s'engage, à travers la mise en œuvre de son plan climat, à poursuivre son ambitieux programme de modernisation de sa flotte.

Cet engagement, fixé dans les conditions économiques et de concurrence actuelles, correspond à un investissement annuel de 2 milliards d'euros.

La compagnie s'engage ainsi sur un objectif de consommation spécifique de 3,70 l par passager par 100 km à

l'horizon 2012. Cette modernisation est particulièrement sensible sur les vols long-courriers (75 % de ses émissions) ; Air France s'engage ainsi à réduire de 20 % les émissions de CO<sub>2</sub> sur la desserte entre la métropole et les départements d'Outre-Mer (entre 2005 et 2012).

Sur le réseau domestique, Air France se retire de certaines liaisons courtes distances, sauf pour l'apport à la correspondance long-courrier, et s'engage ainsi sur une baisse de 5 % entre 2005 et 2012 des émissions de CO<sub>2</sub> pour ses vols domestiques.

En matière d'impact sonore, la compagnie Air France s'engage à ce que son activité à moyen terme se fasse à niveau de bruit (énergie sonore globale) inférieur à celui atteint en 2005.

L'État a introduit une très forte modulation de la taxe sur les nuisances sonores aériennes (TNSA) selon les performances acoustiques des avions ; c'est une mesure incitative en faveur du renouvellement des flottes.

L'État s'engage à amplifier cette politique incitative et mettra en place avant fin 2008 la réglementation permettant d'avoir des modulations de la redevance d'atterrissage sur la base de la classification acoustique utilisée pour la TNSA, de manière à y introduire un principe de « bonus/malus » en fonction des performances environnementales des aéronefs, à produit constant. L'État mettra à la disposition des exploitants d'aérodromes les moyens leur permettant de mettre en œuvre ce dispositif.

Sur le plan réglementaire, l'État a arrêté des restrictions d'exploitation qui prévoient le retrait progressif des avions les plus bruyants sur les principaux aéroports la nuit. Un retrait total de ces avions sur la totalité de la journée devra être achevé à Roissy à l'été 2008.

Pour rendre compte des progrès en la matière, la DGAC publiera après chaque saison aéronautique, avec l'aide d'Aéroports de Paris et de l'UAF, la composition des flottes qui ont effectué des mouvements sur chacun des

principaux aéroports français, en les regroupant par catégorie acoustique d'aéronefs et par compagnie ou catégorie de compagnie.

#### ***4. Améliorer la performance environnementale des entreprises de l'aviation marchande***

Les compagnies aériennes, les sociétés d'assistance aéroportuaire, les sociétés de maintenance aéronautique, les sociétés de fret, les écoles de pilotage et toutes les entreprises réunies au sein de la Fnam (Fédération nationale de l'aviation marchande) et du Scara (Syndicat des compagnies aériennes autonomes) s'engagent à minimiser l'impact environnemental de leurs activités par la définition en commun et la mise en œuvre de pratiques commerciales, opérationnelles et industrielles.

Ces pratiques seront formalisées dans une charte signée par les adhérents de la Fnam en 2008.

Elles comprendront notamment :

- ◆ la réalisation d'un bilan carbone de l'activité de l'entreprise comptabilisant les émissions de gaz carbonique ;
- ◆ l'élaboration d'un plan d'action interne visant à réduire la consommation d'énergie : éclairage, chauffage, optimisation des transports de marchandises au sol (chargements, trajets, véhicules), matériels d'assistance et de servitude, encouragement du covoiturage pour le transport des personnels, etc. ;
- ◆ la promotion de pratiques écologiques auprès des clients et des fournisseurs.

#### ***5. Informer le passager sur l'impact environnemental du transport aérien***

Air France permet à chaque passager empruntant ses lignes de connaître avec précision ses émissions de CO<sub>2</sub> à partir des consommations et des taux de remplissage effectivement

constatés. Un calculateur de CO<sub>2</sub> est mis à leur disposition à cet effet.

La DGAC propose sur son site internet un calculateur permettant de connaître les émissions par trajet au départ d'un aéroport français, en prenant les moyennes constatées pour l'ensemble des mouvements. Ces dispositifs sont agréés par les organismes interministériels compétents.

Les compagnies aériennes membres de la Fnam et du Scara s'engagent à mettre en place des dispositifs équivalents avec les autres compagnies adhérentes ou, à défaut, à favoriser l'information du passager par des liens sur le calculateur de la DGAC.

En complément de l'information des passagers sur les émissions de CO<sub>2</sub> par trajet, la Fnam rédigera, en 2008, un guide de bonnes pratiques à l'attention des compagnies aériennes en matière de programmes de compensation de CO<sub>2</sub> et en assurera la promotion auprès des compagnies et de leurs clients.

## *6. Soutenir le projet européen d'inclure le transport aérien dans le système d'échange des permis d'émission*

L'État comme les acteurs français du transport aérien soutiennent l'initiative de la Commission européenne d'intégrer l'aviation dans le système du marché des permis d'émission. La possibilité d'échanger des permis dans un système ouvert sur l'industrie est en effet la garantie de pouvoir concilier le développement du trafic aérien et les objectifs quantifiés et impératifs de limitation des émissions.

Les signataires de la présente convention s'engagent à contribuer à la promotion de ce système. La France jouera un rôle actif dans le groupe Aviation internationale et changement climatique (Giacc) que l'Oaci a mis en place et qui doit proposer des solutions au plan international avant la fin 2009.

## *7. Améliorer la performance environnementale de la navigation aérienne*

À court terme, les trajectoires des avions en région parisienne seront relevées pour diminuer l'impact du bruit au sol selon le calendrier suivant :

- ◆ début 2008 : relèvement de 300 m des altitudes d'arrivée des avions de nuit au Bourget par vent d'est ;
- ◆ début 2009 : relèvement à 1 200 m des altitudes d'arrivée de tous les avions à Orly ;
- ◆ 2010-2011 : relèvement à 1 200 m et 1 500 m des altitudes d'arrivée à Roissy-Charles-de-Gaulle, au lieu de 900 m et 1 200 m ;
- ◆ 2010-2011 : relèvement à 900 m des altitudes d'arrivée de tous les avions au Bourget ;
- ◆ 2010-2011 : relèvement à 1 500 m de certaines altitudes d'arrivée à Orly.

Un comité de pilotage sera mis en place avant l'été 2008 par le préfet de région Île-de-France pour suivre la mise en œuvre de ces nouvelles procédures. En outre, la DSNA et Air France s'engagent à expérimenter, dès le 1<sup>er</sup> semestre 2008, les procédures de descente continue pour les arrivées en provenance du sud-ouest à Orly, par vent d'est.

Enfin, le volume de protection environnementale d'Orly pour les décollages par vent d'ouest sera prolongé.

À moyen et long terme, d'importantes évolutions européennes sont engagées pour améliorer la performance de la navigation aérienne à l'échelle de toute l'Europe. L'État et les industriels concernés y participent activement et s'engagent à promouvoir les objectifs de performance environnementale de la navigation aérienne.

Le programme européen de recherche Sesar a pour objectif de renouveler, d'ici 2020, l'ensemble des systèmes de navigation aérienne et de communication entre le sol et l'avion. Ce programme reposera sur de nouvelles technologies de

partage d'informations entre transporteurs aériens, aéroports et opérateurs de navigation aérienne pour assurer une gestion plus intégrée des vols dans leurs différentes phases, du départ à l'arrivée. Cela permettra de réduire les consommations liées aux temps d'attente au sol ou en vol. Il fournira des outils permettant aux pilotes et aux contrôleurs aériens de concilier des profils de vol optimaux en termes de consommation avec les impératifs de sécurité. Il généralisera l'emploi des moyens modernes de navigation satellitaire pour mettre en œuvre des procédures plus précises, moins bruyantes et plus économes en carburant, telles que des approches avec guidage vertical, à forte pente ou segmentées réduisant les survols des zones à forte densité de population.

La définition de Sesar sera terminée au 1<sup>er</sup> semestre 2008 et le Conseil des ministres européens des transports devra adopter le plan directeur qui en découle, et engager la phase de développement au second semestre.

La direction des Services de la navigation aérienne, Aéroports de Paris et les entreprises française (Thales, Airbus) souhaitent participer pleinement à cette phase de développement. Ils se sont portés candidats pour être membres de l'entreprise commune Sesar créée par l'Union européenne pour en assurer la coordination.

L'État a proposé une contribution représentant une part significative du budget de l'entreprise commune allant jusqu'à 150 M€ sur un total de 2 100 M€.

Un Sommet européen de l'aviation sera organisé pendant la présidence française par la DGAC et les acteurs de la construction aéronautique et du transport aérien à Bordeaux en novembre 2008. Il sera consacré au développement durable du transport aérien, et permettra de faire le point des progrès attendus avec Sesar.

Par ailleurs, la constitution d'un bloc d'espace fonctionnel rassemblant six États (les trois États du Benelux, la France, l'Allemagne et la Suisse) au cœur du trafic aérien

européen permettra progressivement de réduire les effets de frontière dans les trajectoires aériennes, et donc d'améliorer la performance environnementale.

L'étude de faisabilité de ce bloc d'espace fonctionnel sera rendue en 2008 et débouchera sur un accord intergouvernemental pour engager le processus. Un gain global en consommation de carburant et de CO<sub>2</sub> de l'ordre de 15 % est attendu avec la mise en œuvre de Sesar et du bloc d'espace fonctionnel Europe centrale à l'horizon 2020.

### ***8. Améliorer la performance environnementale des aéroports***

Le groupe Aéroports de Paris – tout comme les autres grands exploitants d'aéroports réunis dans l'UAF (Union des aéroports français) – s'engage dans des démarches globales visant à améliorer la performance environnementale des services aéroportuaires, notamment pour réduire les émissions de gaz carbonique et de polluants locaux.

Le groupe Aéroports de Paris s'engage à mettre en œuvre notamment les actions suivantes :

- ◆ baisser de 10 % le temps de roulage moyen des avions de Roissy-CDG avant 2015 en lien avec les acteurs concernés ;
- ◆ appliquer une démarche HQE, notamment au futur quartier d'affaires Cœur-d'Orly ainsi qu'aux terminaux T2G et S4 de Roissy-CDG ;
- ◆ réduire les consommations énergétiques internes de l'entreprise de 20 % par passager d'ici 2020 par rapport à 2004 et de 40 % avant 2040 ;
- ◆ lancer un programme d'installation d'énergies renouvelables (biomasse, géothermie...), avec finalisation des études avant fin 2008 ;
- ◆ réduire de 30 % les émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules utilitaires légers de sa flotte automobile d'ici 2012 ;

- ◆ contribuer en partenariat avec les compagnies aériennes à la limitation du recours aux APU (groupes auxiliaires de puissance) ;
- ◆ promouvoir par un site Internet le covoiturage pour les 120 000 personnes qui travaillent sur les plates-formes.

L'UAF s'engage au-delà d'actions similaires programmées par plusieurs de ses membres à rédiger en 2008 un guide de bonnes pratiques qui permettra aux principaux aéroports régionaux de :

- ◆ réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de leurs flottes automobiles et inciter les opérateurs de la plate-forme à en faire autant, notamment en s'équipant de véhicules propres ;
- ◆ réaliser des plans de déplacement d'entreprises pour inciter les personnels au covoiturage ou à l'utilisation des transports en commun ;
- ◆ contribuer en partenariat avec les compagnies aériennes à la limitation du recours aux APU ;
- ◆ adopter et déployer un système de management des questions environnementales pour ce qui concerne leurs activités et à réaliser des bilans carbone ;
- ◆ faire des mesures de la qualité de l'air avec l'aide d'un organisme indépendant.

Dans le cadre du futur schéma national des infrastructures, l'État s'engage à favoriser les interconnexions TGV/aéroports et les dessertes villes/aéroport en transports collectifs ferrés et le projet Carex de transfert intermodal du fret express aérien sur le réseau grande vitesse.

Parallèlement, l'État encouragera les efforts d'interconnexion au niveau des services : information, billetterie... La DGAC publiera en 2008 les résultats d'une enquête sur ce sujet. Elle entreprendra de façon générale toutes études sur le développement de l'intermodalité sur les lignes domestiques.

### *9. Améliorer l'insonorisation des logements des riverains des aéroports*

Le Gouvernement a annoncé le 4 décembre 2007 de nouvelles mesures pour améliorer l'insonorisation des logements. Dès le 1<sup>er</sup> janvier 2008, ces mesures ont été mises en vigueur, après publication dans les derniers jours de décembre d'une loi, d'un décret et d'un arrêté. La taxe sur les nuisances sonores aériennes a ainsi été très fortement relevée à Orly et à Nantes, où existaient des listes d'attente importantes pour bénéficier des aides à l'insonorisation prévues dans le cadre des plans de gêne sonore, et la TNSA a fait l'objet d'une modulation en soirée pour mieux représenter la gêne subie.

L'objectif est de satisfaire les demandes d'insonorisation qui sont un droit pour les riverains les plus exposés. Cet objectif mobilise l'État qui fixe la taxe, les compagnies aériennes qui la déclarent et la paient, les exploitants d'aéroports qui la gèrent.

À cet égard, le Grenelle de l'environnement a retenu comme objectif de résorber en deux ans les listes d'attente qui existaient.

Les signataires de la convention s'engagent sur cet objectif, et conviennent notamment de se concerter avant la fin 2008 pour vérifier si sa réalisation est en bonne voie.

À cet effet, la DGAC mettra en place, avec les exploitants d'aéroports, un suivi trimestriel du nombre de demandes en instance sur chacun des aéroports soumis à la TNSA.

### *10. Suivi annuel de la convention*

Les actions prévues dans la présente convention feront l'objet d'un suivi spécifique périodique selon leur nature, et notamment d'un bilan annuel. Chacun des partenaires signataires adressera à la DGAC, qui assurera le secrétariat de la convention, un rapport annuel sur les mesures

engagées et l'évaluation des premiers résultats obtenus en termes d'impact.

Les rapports annuels (ou semestriel pour 2008) ont vocation à être communiqués à toutes les parties prenantes du Grenelle de l'environnement.

La convention est valable pour une durée de quatre ans. Elle a été signée le 28 janvier 2008 par :

- ◆ Jean-Louis Borloo, ministre d'État, ministre de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables ;
- ◆ Nathalie Kosciusko-Morizet, secrétaire d'État chargée de l'Écologie ;
- ◆ Jean-Cyril Spinetta, Air France-KLM ;
- ◆ Pierre Graff, Aéroports de Paris ;
- ◆ Lionel Guerin, Fédération nationale de l'aviation marchande ;
- ◆ Dominique Bussereau, secrétaire d'État chargé des Transports ;
- ◆ Charles Edelstenne, Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales ;
- ◆ Claude Terrazoni, Union des aéroports français ;
- ◆ Jean-Baptiste Valle, Syndicat des compagnies aériennes autonomes.



### *Annexe 3*

---

## Engagement de l'industrie du transport aérien à agir contre les changements climatiques

Dans le cadre du 3<sup>e</sup> sommet Aviation et Environnement qui s'est tenu en avril 2008 à Genève (Suisse), les dirigeants de l'industrie du transport aérien – parmi lesquels figurent les grands constructeurs aéronautiques, l'Européen Airbus, l'Américain Boeing, le Canadien Bombardier et le Brésilien Embraer, ainsi que les motoristes CFM International, GE, Pratt&Whitney et Rolls-Royce – ont signé un engagement commun.

En tant que dirigeants de l'industrie du transport aérien, nous reconnaissons nos responsabilités environnementales et convenons du besoin de :

- ◆ fonder notre action sur les progrès et innovations technologiques qui font de l'aviation le moyen de transport le plus sûr et le plus efficace ;
- ◆ accélérer les mesures d'atténuation de notre impact sur l'environnement, tout particulièrement en ce qui concerne

l'évolution du climat, tout en préservant notre rôle moteur dans le développement durable de notre société globale.

En foi de quoi nous – compagnies et organisations du transport aérien soussignées – nous engageons sur la voie d'une stabilisation de nos émissions malgré la croissance du trafic, tout en aspirant à un avenir sans émissions. À cette fin, et conformément à la stratégie des quatre piliers approuvée à l'unanimité par l'assemblée de l'Oaci de 2007, nous sommes déterminés à :

- ◆ faire avancer le développement et la mise en œuvre de nouvelles technologies, incluant des carburants plus propres ;
- ◆ optimiser encore l'efficacité énergétique de nos flottes, ainsi que notre façon de voler et de gérer nos opérations au sol ;
- ◆ améliorer les routes aériennes, la gestion du trafic et l'infrastructure aéroportuaire ;
- ◆ mettre en œuvre des mesures économiques positives en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre partout où elles présentent un bon rapport rendement-prix.

Nous exhortons tous les gouvernements à participer à ces efforts, en :

- ◆ soutenant et en cofinçant des programmes adéquats de recherche et développement en vue de percées écologiques majeures dans l'aéronautique civile ;
- ◆ adoptant des mesures urgentes pour améliorer la configuration de l'espace aérien, y compris son partage entre civils et militaires, ainsi que le cadre de gestion du trafic aérien et les procédures d'approbation des adaptations aéroportuaires ;
- ◆ mettant en place un cadre global, équitable et stable de gestion des émissions de l'aviation civile sous l'égide

de l'Oaci et en harmonie avec le programme de travail des Nations unies élaboré à Bali en décembre 2007.

Nous sommes convaincus que nos efforts et engagements à travailler en partenariat avec les gouvernements, les autres industries et les représentants de la société civile apporteront des bénéfices significatifs dans la lutte contre l'évolution du climat et les autres défis environnementaux. Nous encourageons vivement d'autres partenaires à nous rejoindre dans cette action.



## *Annexe 4*

---

### Interview de Jacques Renvier\*

*Dans quelles proportions les moteurs d'avions sont-ils devenus plus respectueux de l'environnement ?*

La consommation de carburant par kilomètre et par passager a été réduite de l'ordre de 60 à 70 % depuis l'avènement du transport à réaction. Il est admis que l'avion peut revendiquer environ 30 % de gain, et le moteur un gain d'environ 40 %.

La consommation de carburant sur les avions de dernière génération est de l'ordre de 2,8 l (long-courrier) à 3,5 l pour 100 km en tenant compte du taux de remplissage moyen de 70 %. Il est meilleur que celui des voitures particulières en Europe, de l'ordre de 4 à 5 l pour 100 km pour un taux de remplissage de 1,7 passager.

On peut comparer cette évolution passée aux objectifs à venir afin de constater la nécessité de nouvelles ruptures technologiques. On y voit que les moteurs actuels sont environ 30 % plus économes en carburant que le JT8D,

---

\* Jacques Renvier est directeur technique adjoint de la Snecma.

mais qu'il reste environ 15 % de réduction à faire d'ici 2015 et 25 % d'ici 2020.

Le bruit a été réduit d'environ 30 EPNdB depuis le JT8D, soit 10 dB par point de mesure (approche, latéral piste, début de montée), ce qui représente une réduction du bruit d'environ 75 %. L'essentiel du gain est attribuable au moteur. Les progrès à venir pour satisfaire les objectifs Acare sont une nouvelle réduction de 6 à 8 dB par point de mesure (réduction de 50 %). La réduction du bruit cellule avion est indispensable. À l'approche, le bruit avion est supérieur au bruit moteur.

Les  $\text{NO}_x$  ont été réduits de 60 % depuis le JT8D, et même d'environ 90 % avec une chambre à double tête (DAC). Les gains supplémentaires pour tenir les objectifs Acare sont de l'ordre de 60 % par rapport au CFM56 (hors chambre DAC ou Tech Insertion). Ces gains sont réalisables au travers de l'injection multipoint, chambre TAPS par ou chambre Low- $\text{NO}_x$  à injection LPP (*lean pre-mixed pre-vaporized*) développée par Snecma.

*Compte tenu des progrès obtenus, à travers notamment le développement des technologies de chambre à combustion, les émissions de  $\text{CO}_2$  et d'hydrocarbures brûlés ont considérablement chuté. En revanche, ce n'est pas le cas des oxydes d'azote. Cela signifie-t-il qu'il faille privilégier l'un ou l'autre, autrement dit qu'il est impossible de jouer sur les deux tableaux ?*

Il est effectivement admis qu'il peut y avoir un antagonisme entre la réduction du  $\text{CO}_2$  et celle des  $\text{NO}_x$ . En effet, un moyen de réduire les  $\text{CO}_2$  est d'augmenter le taux de compression (OPR) et la température d'entrée turbine, deux évolutions qui conduisent à une augmentation des  $\text{NO}_x$ .

Toutefois, il n'est absolument pas contradictoire de se donner à la fois des objectifs de réduction du  $\text{CO}_2$  et des  $\text{NO}_x$ , car les voies technologiques spécifiques de ces deux problématiques sont différentes. La réduction des  $\text{NO}_x$  est

possible par des progrès spécifiques sur la chambre de combustion (technologie multipoint par exemple). Le Leap 56 propose une amélioration de Cs de 15 % et une amélioration des NO<sub>x</sub> de 60 %.

Dans le même ordre d'idée, il peut être antagoniste de vouloir améliorer les NO<sub>x</sub> et les autres polluants (CO, HC ou hydrocarbures imbrûlés). En effet, ces derniers peuvent être réduits par une augmentation du « temps de séjour » des espèces chimiques dans la zone de combustion, mais cette augmentation, combinée à des températures élevées, produira davantage de NO<sub>x</sub>. Toutefois, on se gardera d'en conclure que la réduction des NO<sub>x</sub> conduira forcément à une augmentation de CO et HC, car les technologies développées au niveau de l'injection carburant, telle l'injection multipoint, agissent sur d'autres paramètres que le temps de séjour, comme la richesse de la zone de combustion et la qualité du mélange, qui jouent moins directement sur les CO et les HC. On conclura plutôt que la réduction des NO<sub>x</sub> est possible à ISO CO et HC, mais qu'il serait très difficile de vouloir jouer sur les deux tableaux, sans un développement de nouvelles technologies.

*Les objectifs fixés par l'Acare sont ambitieux, mais en l'état actuel des connaissances, certains ne sont-ils pas contradictoires ?*

Tout d'abord, dans la conception d'un moteur, il y a d'autres facteurs à prendre en compte : règlements de certification, coûts de maintenance, fiabilité, calendrier...

Les objectifs Acare sont ambitieux, mais restent tout à fait d'actualité compte tenu des pressions environnementales croissantes. Pris individuellement, ils sont réalistes, mais nécessitent des développements technologiques importants, voire des sauts technologiques :

- ◆ développement de moteurs à grand taux de dilution « équilibrés », faibles coûts de maintenance, faible consommation, faible bruit ;

- ◆ *open rotor* pour réduire la consommation carburant et tenir la réduction de  $\text{CO}_2$  ;
- ◆ technologies acoustiques innovantes pour la réduction du bruit ;
- ◆ chambre à injection multipoint pour la réduction des  $\text{NO}_x$ .

Ils peuvent être considérés comme contradictoires puisque, aujourd'hui, on ne sait pas tenir à la fois l'objectif de réduction du  $\text{CO}_2$ , des coûts de maintenance et du bruit. Ainsi, il faudra que les études actuelles débouchent sur des compromis réalistes :

- ◆ soit en rester à des turbo-fans et trouver un gain supplémentaire de 10 % sur la consommation de carburant, éventuellement par d'autres moyens que la propulsion (réduction du *mach* de vol, réduction du rayon d'action, gestion du roulage au sol, gestion des routes aériennes, optimisation de l'ATM au sens large, etc.) ;
- ◆ soit opter pour un *open rotor* (ce qui n'empêche pas d'ailleurs de rechercher d'autres gains pour le  $\text{CO}_2$ ), mais, à ce moment-là, trouver des solutions pour le bruit, et obtenir un consensus social sur ce point-là : l'amélioration du bruit n'est plus la priorité face au réchauffement climatique.

L'objectif Acare de réduction des  $\text{NO}_x$  est également ambitieux, et le cas échéant pénalisant pour la réduction de  $\text{CO}_2$  si on cherchait à maximiser celle-ci au travers de moteurs très comprimés et très chauds. Cependant, les solutions mentionnées, pour peu qu'on accepte de ne pas satisfaire à la fois les objectifs de consommation et de bruit, ne sont pas incompatibles avec l'objectif de réduction des  $\text{NO}_x$ .

*À travers l'exemple de l'open rotor, qui permet d'obtenir une réduction significative de la consommation de carburant,*

*mais qui génère d'importantes nuisances sonores, la recherche d'un moteur vert ne contraint-elle pas à arbitrer des divergences ?*

Effectivement, si l'on opte pour un *open rotor*, on peut espérer satisfaire l'objectif de réduction du CO<sub>2</sub> de 25 %, mais la réduction de bruit de 15 dB par rapport à un moteur actuel devra être « oubliée » – on fera au mieux 5 dB à 8 dB. Il se pose même la question de savoir si l'*open rotor* ne crée pas un bruit que l'on pourrait percevoir au sol en croisière, ce qui pourrait être un retour en arrière considérable par rapport aux avions actuels.

L'*open rotor* peut conduire à d'autres divergences à arbitrer, notamment vis-à-vis du bruit cabine. Son traitement se fera *via* un accroissement de masse, donc une réduction du gain carburant. Les contraintes de certification sont également spécifiques.

L'*open rotor* nécessite une installation novatrice, pouvant amener de nouvelles contraintes sur l'avion. Le bilan des performances est d'ailleurs à affiner de ce point de vue. Cette installation va aussi peser sur les coûts de maintenance.

De la même manière, on peut généraliser sur d'autres arbitrages possibles :

- ◆ pour privilégier le CO<sub>2</sub>, il peut être intéressant de passer à une turbine biétagée au détriment du coût de maintenance ; le coût de maintenance risque d'ailleurs plus généralement de passer nettement au 2<sup>e</sup> plan après le coût du carburant et des taxes carbone ;
- ◆ on peut envisager que des matériaux composites deviennent incontournables pour réduire la masse moteur, malgré un impact négatif sur le prix du moteur et le coût de maintenance ; cette réduction de masse est nécessaire pour son effet direct sur la consommation, mais aussi du fait de l'augmentation du taux de dilution qui accroît la dimension des pièces ;

- ◆ la réduction du CO<sub>2</sub> peut conduire à une augmentation du rapport de pression compromettant la tenue de l'objectif de NO<sub>x</sub> ;
- ◆ etc.

*L'intégration du moteur à la cellule de l'avion apparaît comme une piste de progrès. Qu'est-ce que cela peut induire au niveau de la conception ?*

C'est un point sur lequel il y a toujours à faire en faisant sauter les barrières actuelles et en allant vers une fourniture de systèmes. Par exemple, le motoriste fournit la nacelle et le mât, idem au niveau système électrique...

L'intégration du moteur est une piste de progrès selon différents axes :

- ◆ si l'on s'intéresse à un turbo-fan à grand taux de dilution type Leap 56, le diamètre moteur nécessite aussi une installation spécifique, mais sans forcément compromettre l'installation sous l'aile ;
- ◆ des installations innovantes sous l'aile ont été étudiées dans le but de réduire la masse, et peuvent contribuer à une amélioration de la consommation de carburant *via* des effets technologiques sur la suspension moteur ;
- ◆ un turbo-fan classique peut également être logé à l'arrière, partiellement « enterré » dans le cône arrière du fuselage ;
- ◆ si l'on s'intéresse à l'*open rotor*, dont le bruit est pénalisant, il faut trouver des techniques de masquage moteur par des structures avion ;
- ◆ une installation sur l'aile, notamment possible et intéressante pour l'*open rotor*, vu son grand diamètre, pose de nouveaux problèmes d'intégration qui restent à étudier ;
- ◆ l'installation à l'arrière sur le côté du fuselage est classique pour un turbo-fan, mais pas forcément pour un *open rotor*, compte tenu du diamètre et donc de la longueur de mât.

## *Annexe 5*

---

### Interview de John Davidson\*

*Quelles sont les propriétés de la fibre de carbone qui expliquent son développement dans la construction aéronautique ?*

Sa principale caractéristique est son poids par rapport à sa résistance et à sa rigidité. Dans le domaine spécifique de la construction aéronautique, cet atout est un avantage au regard de la réduction de la consommation de carburant.

*Quels sont les principaux problèmes à résoudre concernant le recyclage des matériaux composites, omniprésents dans la construction aéronautique ?*

Tout d'abord, au niveau de la préparation du chantier, en ce qui nous concerne, nous devons être impliqués dans la déconstruction d'un avion contenant des composites en fibre de carbone dès la première minute de son recyclage. La méthode traditionnelle employée pour les avions construits

---

\* John Davidson est directeur général de Milled Carbon.

en métal est de couper et de déchiqueter de manière aléatoire. Si nous voulons tirer le maximum des composites carbone, nous devons découper l'avion de manière méthodique et réfléchie. C'est le moyen de retrouver les fibres. Cette façon de procéder est en fait valable pour tout type de matériaux composites.

Ensuite, concernant le stockage, si nous devons recycler des composites de manière sûre et responsable, il est indispensable que les matériaux soient stockés et transportés en sachant à quel type de résine nous avons affaire et, dans l'idéal, en connaissant les caractéristiques de la fibre de carbone. Ceci nous permet d'inscrire les opérations de recyclage dans un cadre d'assurance qualité et de contrôle qualité afin de garantir que nous mettons en œuvre le process adéquat pour un matériau donné.

*Le très haut degré de technicité des matériaux composites, et en particulier de la fibre de carbone, rend singulièrement complexe leur recyclage. Qu'est-ce que cela implique au niveau de la filière de recyclage ?*

Dans les faits, le processus de recyclage n'est pas aussi complexe que beaucoup le pensent. Le défi réside dans la réduction de l'énergie nécessaire pour le traitement, la valorisation des produits dérivés et l'optimisation de la qualité des fibres ainsi récupérées, ce qui favorise leur réemploi.

*Quel est le taux de recyclage de la fibre de carbone et quelles peuvent être les applications de la fibre recyclée ?*

Sachant que la matrice d'un matériaux composite compte en moyenne pour 40 %, nous pouvons envisager de récupérer environ 60 % de fibres. Notre ligne expérimentale actuelle peut traiter entre une et deux tonnes par semaine, mais notre nouvelle ligne de production opérationnelle depuis septembre 2008 permet de traiter plus de deux tonnes en huit heures.

Les fibres recyclées entrent dans la production de ciment, de moulage par injection, de plastiques antistatiques, de revêtement routier, de protection contre les interférences électromagnétiques, de composites non tissés, etc. Chaque jour apporte de nouveaux débouchés.



## *Annexe 6*

---

### Interview de Martin Fraissignes\*

*En quels termes se pose aujourd'hui la question du recyclage des avions en fin de cycle de vie ?*

Le recyclage des avions en fin de vie constitue un double enjeu, dans le domaine de la sécurité et dans le domaine de l'environnement. En effet, le recyclage d'un avion passe par le préalable de la valorisation des pièces qui peuvent être prélevées et commercialisées sur le marché de la pièce détachée d'occasion (moteurs, trains, éléments de navigation...). Cette forme de valorisation précède la destruction et le recyclage de l'avion et doit être exécutée avec rigueur et professionnalisme. En effet, les pièces doivent être prélevées dans le respect des prescriptions des constructeurs. Leur traçabilité doit être établie, et il convient de s'assurer de leur parfait état de fonctionnement.

---

\* Martin Fraissignes est président de l'Afra (Association pour le recyclage des avions de ligne) et directeur général de Chateauroux Air Center-France.

S'agissant du recyclage proprement dit, l'objectif est double : il s'agit, d'une part, de démanteler l'avion sur un site dédié, parfaitement sécurisé, pour éviter tout risque de pollution de l'environnement (fluide, matériaux dangereux), d'autre part, de maximiser la quantité des matériaux recouverts (aluminium, métaux précieux, plastique...) pour les réutiliser industriellement et ménager ainsi les ressources de notre planète.

Ainsi, le recyclage des avions participe pleinement au développement durable de l'industrie du transport aérien et se décline par la sécurité de ce mode de transport, le respect de l'environnement et la récupération maximisée des matériaux.

*L'industrie aéronautique est-elle organisée pour faire face aux milliers d'avions de ligne appelés à être retirés des flottes des compagnies aériennes et qu'elle aura à traiter dans les années à venir ?*

Les analystes considèrent qu'environ 8 000 avions commerciaux seront retirés des flottes aériennes dans les vingt ans qui viennent, pour être recyclés. À ce chiffre, s'ajoutent environ 2 500 avions dès à présent immobilisés au sol. On peut penser qu'une appréciation du prix du pétrole accélèrera les sorties de flotte et accroîtra le nombre d'avions à recycler dans les semestres à venir.

Cette activité est émergente. L'industrie aéronautique et l'industrie du recyclage industriel sont en train de s'organiser pour traiter cette activité nouvelle selon les procédures que l'Afra (Aircraft Fleet Recycling Association) élabore actuellement. Ce recyclage prendra quelques années et sera réalisé au travers d'un réseau de sites spécialisés comme ceux de Châteauroux-France (Chateauroux Air Center), d'Evergreen à Marana-USA et d'autres sites que l'association entend identifier.

*La place de plus en plus importante occupée par les matériaux composites dans la construction des cellules d'avions et des moteurs ne constitue-t-elle pas un défi technologique, dans la perspective d'un recyclage total ?*

Les matériaux composites, comme on le sait, sont de plus en plus utilisés dans la construction de cellules de moteurs d'avions. Cela concerne notamment la fibre de carbone dont le recyclage et la réutilisation constituent un véritable enjeu technologique. Des sociétés y travaillent dès à présent, comme la société Milled Carbon-UK. Je suis convaincu que les process industriels seront au rendez-vous lorsque ces matériaux composites se présenteront en quantités importantes pour être recyclés, dans les dix à quinze prochaines années.

*Quels sont, selon vous, les moyens à mettre en œuvre pour encadrer la réutilisation des pièces de rechange, et plus globalement des divers éléments et sous-ensembles prélevés lors de la déconstruction des avions, puis commercialisés sur le marché de l'occasion ?*

Le prélèvement de pièces sur un avion et leur démontage doivent être effectués par des sociétés dont les personnels sont hautement qualifiés. Il s'agit en fait de la maintenance « puissance – 1 » qui requiert les certifications appropriées du type Part 145. Le prélèvement de pièces et leur mise sur le marché de l'occasion sont dès lors réalisés en totale sécurité et traçabilité et permettent d'accroître la sécurité du transport aérien – dont certains accidents sont la conséquence directe de pièces d'occasion d'origine douteuse.

*Quel rôle peut assumer l'Afra dans ce marché émergent du recyclage des avions ?*

Dans ce contexte, l'Afra entend jouer un rôle majeur. Créée en 2006 à l'initiative d'une dizaine d'entreprises, l'association compte aujourd'hui trente-quatre membres

(constructeurs d'avions, motoristes, MRO, OEM, recycleurs industriels, centres de recherche, aéroports). Ces différentes entreprises, qui au cumul ont déjà recyclé plus de 3 000 avions, mettent en commun leurs expériences pour définir des codes de bonne conduite (*best maintenance practices*) fondés sur leur expérience. Celle-ci est enrichie par la diversité des nationalités (États-Unis, Europe, Afrique du Sud...) et l'Afra a déjà réalisé un premier ouvrage relatif aux pièces détachées et équipements ([www.afraassociation.org](http://www.afraassociation.org)).

L'afra entend aller au-delà de ce rôle de préconisateur, notamment par la délivrance d'accréditations à ses membres et en transformant ses recommandations en bases réglementaires pour les autorités de tutelle de l'aviation internationale. Des démarches sont en cours ; plusieurs audits de sociétés sont réalisés en 2008.

L'afra travaille au développement du nombre de ses membres, afin d'avoir une représentativité géographique et industrielle aussi large que possible. Cela concerne notamment les pays asiatiques et d'Amérique du Sud, ainsi que d'autres constructeurs d'avions (Russie, Brésil...), recycleurs et sociétés de pièces détachées.

Enfin, un programme de recyclage d'avions au sol est en cours d'élaboration, afin de débarrasser les aéroports de la planète des épaves qui y stationnent. C'est un chantier de portée internationale.

## *Annexe 7*

---

### Interview de François Quentin\*

*L'Acare est un conseil consultatif auprès de la Commission européenne au niveau de la recherche aéronautique. Quels sont ses objectifs ?*

L'Acare est une plate-forme technologique qui rassemble l'ensemble des acteurs européens de notre secteur : les industriels, les centres de recherche, les universités, les aéroports, les compagnies aériennes, les régulateurs, la Commission européenne et les États membres. Sa vocation est de définir une vision en matière de recherche aéronautique à moyen et long terme : aujourd'hui, la vision établie en 2000 est à l'échéance 2020, et nous préparons actuellement une révision à l'échéance 2040-2050. La vision 2020 vise à amener les acteurs européens au plus haut niveau d'excellence et de leadership pour ce secteur stratégique qu'est l'aéronautique.

---

\* François Quentin est président de l'Acare (Advisory Council for Aeronautic Research in Europe – Conseil pour la recherche aéronautique en Europe).

*Les objectifs fixés sont ambitieux. Quels sont les moyens mis en regard ?*

Nous avons défini un agenda stratégique (*strategic research agenda*) afin de déployer la vision Acare. Il se décline en six objectifs opérationnels (dits « *high-level target concepts* ») : *cost efficiency*, *time efficiency*, *highly customer-oriented*, *security*, *green air transport* et *22<sup>nd</sup> Century*. L'Acare cherche donc à mettre en œuvre tous les moyens pour remplir ces objectifs. La première source des ressources est le financement de la recherche européenne par la Commission. Pour l'utiliser au mieux, il faut s'assurer de la cohérence entre la recherche faite dans le cadre d'Acare ou des programmes collaboratifs de recherche et les initiatives qui ont un lien organique ou pas avec cette recherche (Sesar, Galileo, GMES et Clean Sky). Il faut également assurer la cohérence avec les recherches industrielles et nationales pour ne pas dupliquer les initiatives et assurer une complémentarité. Afin d'optimiser la coordination, certains pays (Italie, Espagne, Royaume-Uni, Allemagne...) ont mis en place des équivalents d'Acare au niveau national, maximisant l'animation et l'harmonisation des initiatives. La France travaille également dans cette perspective.

*Quelles sont les priorités de l'Acare ?*

Par rapport aux objectifs de l'Acare, qui sont des objectifs politiques partagés, les priorités sont définies en prenant en compte une vision commerciale et des besoins du marché. À terme, les deux doivent converger. Des initiatives spécifiques répondent aux problématiques concrètes et permanentes de chaque objectif : le programme Sesar pour les aspects *time efficiency* (pour une meilleure efficacité de l'espace aérien), l'initiative Clean Sky pour les enjeux environnementaux (développement des technologies pour des avions plus « propres »), etc.

Les autres grands dossiers du jour sont le problème de parité euro/dollar, la délocalisation des activités de *manufacturing* vers la zone dollar... et le risque de voir la recherche suivre le même chemin. La *supply chain* doit s'adapter à cette situation en termes de compétences et d'outils. Une autre priorité est celle des ressources énergétiques. Le contexte actuel nous pousse à travailler sur le développement de carburants alternatifs (bio, hydrogène, etc.). La grande tendance que l'on constate est que les priorités au sens large ont évolué vers des aspects environnementaux incluant l'« écodesign ». Au niveau des acteurs (entreprises, notamment), tout est mis en œuvre pour harmoniser les plans de recherche de chacun avec les visions de l'Acare. À travers des groupes de travail entre industriels en coordination avec les centres de recherche, les travaux sont définis en phase avec les financements disponibles et les phases du programme cadre de recherche mis en place par la Commission européenne (actuellement, le septième programme cadre sur la période 2007-2013). On observe une harmonisation entre les plans de recherche industrielle et les programmes européens et nationaux. Mais ce sont les différents acteurs qui définissent leurs priorités par rapport aux besoins de leurs clients finaux (*airframers*, compagnies aériennes, régulateurs, etc.). Ces plans et visions industriels sont présentés au début de chaque cycle de programme cadre, et chacun définit au sein de la feuille de route générale une feuille de route par programme cadre qui donne une vision stratégique des thématiques prioritaires. Cela permet de faire un lien entre la vision politique et la feuille de route industrielle. Ainsi, pour un industriel comme Thales, les grandes priorités sont la communication et les réseaux info-centrés, les plates-formes électroniques reconfigurables (*reconfigurable electronic platforms*), l'amélioration des opérations tous temps, la gestion des flottes et l'amélioration de l'efficacité des systèmes pour réduire les coûts d'opérations.

*L'un des principaux chantiers européens porte sur la réorganisation du ciel européen dans la perspective de l'optimisation du contrôle aérien. Comment envisagez-vous de faire sauter les verrous qui entravent la mise en œuvre d'un nouveau système ?*

Les verrous sont liés au morcellement de l'espace aérien européen. En effet, la convention de Chicago, qui régit le droit international en matière d'espace aérien, prévoit que chaque État est responsable de la sécurité des avions dans l'espace situé au-dessus de son sol, mais à la fin des années 1990, la pression s'est faite plus forte sur la Communauté européenne pour optimiser le système de trafic aérien existant. Les aspects politiques et réglementaires sont très importants et ont nécessité l'adoption par le Conseil européen et le Parlement européen d'un règlement cadre qui formule des objectifs généraux, ainsi que trois règlements d'application portant respectivement sur l'organisation et l'utilisation de l'espace aérien, sur la fourniture de services de navigation aérienne et sur l'interopérabilité des systèmes de navigation aérienne européens.

Il est possible de dire que les verrous sont aussi en passe de sauter au niveau industriel car, dans le cadre de l'initiative Sesar, pour la première fois, vingt-neuf sociétés et organisations se sont réunies au sein d'un consortium pour réfléchir ensemble à la définition d'un nouveau concept opérationnel et à l'élaboration d'un plan cadre de RTD (recherche, technologie et développement) qui vise à développer un système européen de nouvelle génération pour la gestion du trafic aérien.

*L'aéronautique est une activité éminemment mondialisée qui ne peut évidemment pas être circonscrite à la seule Europe. Existe-t-il des programmes de coopération avec d'autres pays, et en particulier avec les États-Unis ?*

Forcément, le périmètre de cette activité va bien au-delà de l'Europe ! Il est primordial que le système développé

pour répondre aux besoins de l'Europe soit compatible avec les besoins des autres régions du globe. Le programme Sesar est d'ailleurs ouvert à des pays tiers, pour autant qu'un accord ait été signé avec la Commission européenne et de nombreux contacts ont été initiés. Pour répondre à votre question sur les États-Unis, il existe une initiative similaire baptisée NextGen ; les responsables des programmes Sesar et NextGen se rencontrent périodiquement pour étudier notamment les aspects d'interopérabilité. Une coopération plus importante est envisagée, mais elle est difficile à mettre en place car les structures de gouvernance de ces programmes ainsi que les calendriers sont différents.



*Annexe 8*

---

**Boeing French Team  
Symposium « Transport Aérien :  
le challenge de l'environnement »**

**Grand Amphithéâtre du Muséum,  
Jardin des plantes, Paris  
Jeudi 6 décembre 2007**

- 08 h 30 **Café d'accueil**
- 09 h 00 **Introduction d'Yves Galland, Président,  
Boeing France**
- 09 h 10 **Allocution de Scott Carson, Président  
Directeur Général, Boeing Commercial  
Airplanes**
- 09 h 30 **Quel est le défi ?  
Mary Armstrong, Vice Président  
Environnement, The Boeing Company  
Bill Glover, Directeur de l'environnement,  
Boeing Commercial Airplanes**

- 09 h 50 **Quelles attentes pour les générations futures ?**  
**Présentation des étudiants de la Chaire de Développement Durable de l'Institut d'Études Politiques de Paris**
- 10 h 10 Pause
- 10 h 30 **Les solutions : Table ronde 1 – Améliorer l'exploitation des flottes**  
**Animateur : François Quentin, Thales, ACARE**
- Bertrand de L'Épinois, Thales
  - Jan Van Doorn, Eurocontrol
  - Jean-Marc Bara, Air France
  - Per Noren, Boeing
  - Juergen Haacker, IATA
- 11 h 30 **Perspectives internationales**  
**Sir Roger Bone, Boeing UK**  
**Joris Vos, Boeing Union Européenne / OTAN**  
**Bruxelles**
- 11 h 45 **Les solutions : Table ronde 2 – Fabrication et amélioration du cycle de vie de l'avion**  
**Animateur : Martin Fraissignes, Aéroport de Chateauroux, AFRA**
- Grégoire Lebigot, Vallière Aviation
  - John Davidson, Milled Carbon
  - Etienne Galan, Snecma
  - Atsuo Miyake, Boeing
- 12 h 45 Déjeuner

**14 h 00 Les solutions : Table ronde 3 – Développer de nouvelles technologies**

Animateur : **Todd Zarfos**, Boeing

- **Bruno Stoufflet**, Dassault Aviation
- **Andreas Sizmann**, Bauhaus Luftfahrt
- **Georg Rayczyk**, Liebherr
- **Jose Enrique Roman**, Boeing Research and Technology Europe
- **Michel Laroche**, SAFRAN

15 h 00 Pause

**15 h 15 Les solutions : Table ronde 4 – Produits et services du futur : la communauté aéronautique en marche**

Animateur : **Marc Ventre**, SAFRAN

- **Pierre Vellay**, Air France
- **Jean-Marie Chevallier**, Aéroports de Paris
- **Jacques Renvier**, Snecma
- **Jeanne Yu**, Boeing

**16 h 15 Le challenge de la communication**

**Bill Glover**, Boeing

**Terrance Scott**, Boeing

16 h 30 **Conclusion – Yves Galland**

17 h 00 **Fin du Symposium**

Yves **Galland** avec Gil **Roy**

# Révolution aéronautique, le défi de l'environnement

Une véritable révolution traverse aujourd'hui l'industrie aéronautique, confrontée à l'obligation de modifier ses modes de production et de consommation afin de diminuer son empreinte écologique. Les gaz à effet de serre, principaux responsables du réchauffement climatique, sont particulièrement visés, tandis que l'augmentation continue du prix du pétrole accentue dramatiquement la nécessité d'un recours à d'autres ressources énergétiques.

Ce livre, signé par Yves Galland, président de Boeing France, et Gil Roy, journaliste spécialisé dans l'aviation, retrace les perspectives qui s'ouvrent à l'industrie aéronautique dans les domaines de l'innovation et de la recherche technologique, et dresse les engagements qui doivent être les siens pour rester une industrie responsable.

Les auteurs combattent ici les idées reçues, rappelant que l'industrie aéronautique a déjà fait preuve de sa capacité à prendre en compte l'environnement lors de la lutte contre les nuisances sonores. Enfin, ils explorent toutes les possibilités, actuellement expérimentées, pour améliorer le cycle de vie de l'avion, réduire la consommation énergétique (notamment par une rationalisation des parcours) et trouver de nouvelles sources d'énergie.

Ce livre montre à quel point la question environnementale est un magnifique défi pour l'industrie aéronautique, dans une histoire riche en aventures et en prouesses technologiques.

Boeing est une marque de Boeing Management Company

**PEARSON** Pearson Education France  
47 bis, rue des Vinaigriers  
75010 Paris  
Tél. : 01 72 74 90 00  
Fax : 01 42 05 22 17  
www.pearson.fr



**Yves Galland** est président de Boeing France. Au Parlement européen où il a été élu à quatre reprises à partir de 1979, il s'était déjà spécialisé dans les problèmes énergétiques. Il a été ministre à plusieurs reprises entre 1986 et 1988 et de 1995 à 1997. On lui doit, sous le gouvernement Juppé, la fameuse loi sur la distribution.



**Gil Roy** est journaliste spécialisé dans l'industrie aéronautique. Il collabore régulièrement à *Air & Cosmos* sur les questions relatives au transport aérien et à l'aviation générale.

**Management /  
Stratégie**

ISBN : 978-2-7440-4041-2

