



Avions du futur : comment se dessine l'avenir pour Boeing Aviation Commerciale et le transport aérien ?

En cent ans, l'Homme est parti à la conquête du ciel à bord d'avions à réaction. Il est même parvenu à marcher sur la Lune. En seulement un siècle, l'innovation aéronautique a permis de franchir de nouvelles frontières qui ont transformé le monde.

Depuis plus de 50 ans, Boeing construit des avions commerciaux qui ont permis de rapprocher les humains et rendre notre planète plus accessible que jamais. Si la division Aviation Commerciale de Boeing (BCA) développe actuellement une nouvelle génération d'appareils tels que le 737 MAX, le 777X et le 787-10 pour répondre aux besoins à court terme de ses clients, elle mène également des recherches sur un grand nombre de technologies innovantes qui recèlent un formidable potentiel pour l'avenir.

Les prochains appareils : 737 MAX et 777X

La nouvelle famille d'avions monocouloir [737 MAX](#) — déclinée en 737 MAX 7, 737 MAX 8, 737 MAX 9 et 737 MAX 200 — s'appuie sur la popularité et la fiabilité de l'actuel 737 NG, tout en offrant aux clients une efficacité énergétique hors-pair sur ce segment du marché.

Le développement du 737 MAX se poursuit conformément au calendrier prévu, la configuration définitive ayant été atteinte en juillet 2013. Son premier vol est prévu en 2016, et les premières livraisons à partir de 2017. Avec près de 3000 commandes enregistrées (chiffre novembre 2015), le 737 MAX est d'ores et déjà un remarquable succès commercial. Le 737 MAX 8 réduit la consommation de carburant et les émissions de CO₂ de 14 % par rapport aux avions monocouloirs actuellement les plus efficaces du marché — et de 20 % par rapport à la génération précédente des 737 NG. Les appareils de la famille 737 MAX sont équipés des moteurs LEAP-1B de CFM International (entreprise commune Snecma (Safran) - General Electric) et bénéficient de technologies nouvelles telles que les [ailettes marginales](#) (*Advanced Technology Winglets*).

Dérivée du 777, l'appareil préféré des passagers et leader sur le marché, le 777X est la toute nouvelle famille d'avions bi couloirs de Boeing. Lancé au salon de Dubaï en novembre 2013, le 777X totalise aujourd'hui plus de 300 commandes et engagements d'achats. Son entrée en production est prévue en 2017 et la première livraison en 2020. [Le 777X sera équipé des technologies les plus innovantes](#), parmi lesquelles le moteur le plus avancé et le plus économe en carburant jamais construit.



Le motoriste GE est le premier partenaire de Boeing sur ce programme en proposant un moteur qui affichera des performances énergétiques bien supérieures à celles des moteurs de cette taille, soit plus de 5 %.

De plus, le 777X sera équipé d'une voilure en composites de quatrième génération dont l'envergure sera supérieure à celle de l'actuel « Triple 7 ». Ses extrémités d'ailes profilées et repliables, ainsi que son envergure optimisée, assureront de meilleures performances et des économies de carburant significatives tout en permettant une compatibilité totale avec les installations aéroportuaires existantes.

Les matériaux avancés

Boeing mène en permanence des recherches axées sur le développement de matériaux avancés ou de nouvelles méthodes de production.

Par exemple, la technique d'injection de résine dans les fibres de carbone représente un grand progrès pour réduire le poids et simplifier la production des avions. Boeing a d'abord testé cette méthode de production en développant un carénage arrière, c'est-à-dire la partie située immédiatement derrière le mât-réacteur, sous la voilure. En 2014, Boeing a réalisé des tests sur l'ecoDemonstrator 787 qui permettront d'intégrer un carénage arrière avec injection de résine dès la fin 2015 à la production des nouveaux 787. Boeing prévoit de tester cette technique prochainement sur des pièces de plus en plus volumineuses.

Parmi les autres technologies de pointe étudiées par Boeing figurent les matériaux à matrice céramique. Similaire à la céramique traditionnellement utilisée pour fabriquer de la vaisselle, ce matériau est à la fois plus solide, plus léger et extrêmement résistant à la chaleur. Boeing a également testé ce matériau en 2014, sur une buse d'échappement du moteur de l'ecoDemonstrator 787. Mené en partenariat avec Rolls-Royce et l'administration fédérale américaine (FAA) dans le cadre de son programme CLEEN¹, ce projet a démontré le grand potentiel d'avenir de ce matériau. Boeing explore actuellement les prochaines étapes d'utilisation de celui-ci.

La réutilisation du surplus de fibre de carbone généré dans la production constitue une autre priorité pour Boeing dont la volonté est de prolonger le cycle de vie de la fibre de carbone. L'objectif est de réutiliser le maximum de surplus pour fabriquer des pièces non structurelles destinées aux avions de demain. En 2015, Boeing a testé sur l'ecoDemonstrator des trappes à carburant fabriquées en fibres recyclées et, plus récemment, un élément du poste de pilotage et des diffuseurs de

¹ **CLEEN** : programme américain de réduction continue de la consommation d'énergie, des émissions et du niveau de bruit (*Continuous Lower Energy Emissions and Noise*)



climatisation réalisés avec des matériaux utilisés dans la fabrication du 787. Ces pièces ont été imprimées en 3D à partir de fibre de carbone recyclée.

Les aménagements cabine

Boeing met tout en œuvre pour améliorer l'expérience de vol des passagers à bord de ses avions grâce à des fonctionnalités qui permettent aux compagnies aériennes de se démarquer de la concurrence. Les compagnies souhaitent que les nouveaux avions surprennent les passagers. Dans cette optique Boeing teste et met en œuvre de nombreuses innovations qui contribuent à rendre les vols plus agréables et plus confortables.

Le Boeing Sky Interior est l'une des innovations les plus réussies comme en témoigne le succès exceptionnel que cet aménagement cabine a remporté auprès des compagnies aériennes. Initialement développé pour le 787, cet aménagement intérieur, qui est proposé depuis 2010 sur les appareils de type 737 NG, comprend un nouvel éclairage innovant, des coffres à bagages beaucoup plus spacieux et une architecture permettant plus d'espace en hauteur et in fine une meilleure expérience de vol. L'aménagement Boeing Sky Interior équipera toute la gamme des nouveaux 737 MAX.

Boeing perfectionne en permanence cette nouvelle cabine, très appréciée des passagers. Parmi les récentes innovations citons les « Space Bins », des nouveaux coffres à bagages « XL » que des passagers ont déjà testés et plébiscités. Ils permettent d'accueillir six bagages à main de taille standard, soit deux de plus que les coffres proposés sur les Boeing 737 NG les plus récents. Par rapport aux configurations actuelles, ces nouveaux coffres permettent d'emporter 194 bagages au lieu de 132 sur un 737-900ER ; 174 au lieu de 118 sur un 737-800 ; et 130 au lieu de 90 sur un 737-700.

Le 777X intégrera lui aussi de nouvelles avancées qui redéfiniront l'expérience de vol des passagers, à savoir des hublots plus vastes, une cabine plus large, un nouvel éclairage et une architecture intérieure revisitée.

Boeing expérimente par ailleurs de nouvelles solutions de diffusion d'images et de sons qui pourraient être utilisées dans les futurs aménagements intérieurs. Des projecteurs invisibles pourraient être incorporés dans la cabine pour diffuser une image sur une cloison ou le plafond. Ces images pourraient, par exemple, représenter la marque de la compagnie aérienne, afficher la destination finale du vol ou servir à toutes sortes d'applications utiles pour une compagnie aérienne.



Des innovations dans le poste de pilotage

Boeing développe également des solutions tout à fait innovantes afin de rendre le poste de pilotage encore plus fonctionnel pour le personnel navigant. Voici quelques exemples des technologies de nouvelle génération actuellement à l'étude :

- **Écrans tactiles** : ajout de capteurs aux systèmes d'affichage et modification des logiciels d'affichage pour permettre aux pilotes d'interagir du bout des doigts avec les écrans.
- **Amélioration de l'affichage des paramètres primaires de vol** (PFD — *Primary Flight Display*) : diverses modifications concernant le contenu et la lisibilité des écrans de contrôle pour une meilleure navigation.
- **Représentation virtuelle de la piste** : diverses fonctionnalités ajoutées aux écrans pour une meilleure compréhension de la piste lorsque les conditions de visualisation sont insuffisantes, lors d'un atterrissage de nuit ou dans le brouillard, par exemple.
- **Aide à l'atterrissage** : superposition des données relatives à la distance d'atterrissage prévue sur la matérialisation de piste ND (*Navigation Display*) ; affichage de symboles sur l'écran ND et l'afficheur tête haute HUD (*Head Up Display*) pour surveiller les performances de freinage et d'arrêt après l'atterrissage.
- **Applications sur iPad** : téléchargement d'informations météo en temps réel et plan de vol ; documentation électronique pour la réalisation du vol (*dispatch*) et annotation du journal de navigation électronique ; application réservée aux tâches des pilotes en vol et au sol (manuels, planning (*dispatch*), formation, etc.).
- **Vision 3D** : Cette application génère des images 3D haute résolution concernant le relief, les obstacles et les infrastructures aéroportuaires en les superposant sur les écrans du cockpit en fonction de la position GPS, de l'altitude, du cap, etc.

L'efficacité des appareils en opération

Boeing soutient les initiatives internationales dont l'objectif est de définir des routes plus efficaces pour les avions et réduire la consommation de carburant au cours de la phase d'approche. Boeing équipe ses avions des équipements nécessaires pour assurer l'interface avec les futurs systèmes de contrôle du trafic aérien (ATC — *Air Traffic Control*) et, par ailleurs, développe des outils sophistiqués pour aider les compagnies à rendre leurs appareils plus efficaces en vol. Voici



quelques exemples où le numérique apporte aux compagnies aériennes des avantages concrets et tangibles :

- **Élimination de la documentation papier** : la dématérialisation a débuté dans le poste de pilotage sur les documents d'aide à la navigation et de gestion des procédures de vol. Elle concerne aussi le suivi de la maintenance
- **Transmission des données techniques de l'avion** : les compagnies aériennes souhaitent pouvoir accéder rapidement et facilement à toutes les informations techniques nécessaires pour prévoir la maintenance de leurs appareils. Les informations sont transmises non seulement aux équipes de maintenance au sol, mais également à l'avion et ce, grâce à des applications sur tablette ou tout autre terminal mobile.
- **Gestion du carburant** : un ensemble d'indicateurs analytiques destiné à l'équipage et aux opérations au sol. Le « Boeing Fuel Dashboard » donne des informations précises sur la consommation de carburant au cours des différentes phases de vol. Issues de différentes sources, ces données fournissent des informations en temps réel à la compagnie aérienne et lui permettent d'atteindre ses objectifs d'économies de carburant. L'outil « Fuel Dashboard » est également accessible à partir d'appareils mobiles.
- **Optimisation de la trajectoire** : outil permettant l'enregistrement et la transmission en temps réel (par l'intermédiaire du système ACARS²) d'informations spécifiques à un vol et exploitables en direct dans le but d'optimiser la trajectoire de vol. En calculant des itinéraires plus directs, cet outil permet de réduire à la fois la durée des vols et la consommation de carburant.

Autres concepts innovants

Boeing étudie en permanence de nouvelles innovations qui permettront d'améliorer le fonctionnement et les performances de ses avions, notamment la consommation de carburant. Voici quelques innovations actuellement à l'étude chez Boeing :

- Dernière innovation dans le domaine de la connexion haut débit pour les avions Boeing, le radôme à antenne satellite en bande Ku a été testé sur l'ecoDemonstrator 787. Cet équipement permet d'actualiser en temps réel les informations relatives à la météo, au vent et à l'itinéraire suivi, ainsi que d'ajuster les données vectorielles et de réaliser des économies de carburant.

² L'ACARS (*Aircraft Communication Addressing and Reporting System*) est un système permettant l'échange d'informations (messages) entre l'avion et le sol sous forme numérique codée par liaison radio ou satellite.



- Dans le domaine de l'aérodynamique la recherche se concentre sur des solutions technologiques qui permettent d'améliorer l'écoulement laminaire en s'appuyant sur les succès déjà enregistrés sur les nacelles du 787 et les ailettes marginales du 737 MAX.
- Volets Krueger à cambrure variable pour protéger les bords d'attaque des insectes ; et test de revêtements anti-insectes développés par la NASA.

Par ailleurs, Boeing et la NASA testent le contrôle actif de l'écoulement (ACF — *Active Flow Control*) en vue d'améliorer le flux d'air sur la gouverne de direction et de maximiser son rendement aérodynamique.

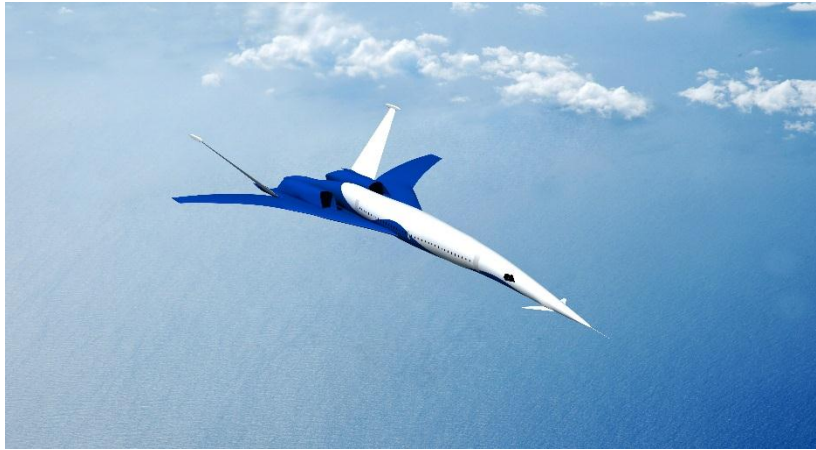
L'avion du futur

Pour préserver son avance, Boeing doit sans cesse innover. Nous étudions de nombreux concepts afin d'évaluer leur viabilité en fonction de la demande du marché et des exigences des clients. Dans le domaine de la R&D — quel que soit le secteur concerné —, nombre de projets sont lancés sans pour autant aboutir à la création de nouveaux produits. Toutefois, la méthode Boeing d'exploration et de tests permet de mieux comprendre ce qui pourrait être possible dans le futur. Les résultats de ces recherches peuvent ainsi être appliqués à de multiples domaines de l'aéronautique. Plusieurs projets de recherche menés par Boeing sont présentés ci-dessous. À terme, certains de ces concepts pourraient voir le jour sur des avions commerciaux.

Démonstrateur « low-boom » et autres concepts supersoniques de la NASA

Depuis 2005, la NASA invite les industriels à prendre part à un processus d'évaluation des futurs vols supersoniques. Boeing a participé à deux projets initiés par l'agence spatiale américaine : le démonstrateur « low-boom » et un projet N+3 visant à étudier les 3 prochaines générations d'avions.

En ce qui concerne le démonstrateur « low-boom », la NASA a invité ses partenaires industriels à étudier le concept d'un avion supersonique silencieux. Aux États-Unis, les vols commerciaux supersoniques ont été interdits en raison du « bang » sonique généré lorsque ces avions franchissent le mur du son. Ce projet financé par la NASA est actuellement en cours et se poursuit.



Ci-dessus, le concept d'avion supersonique « low boom » présenté par Boeing ; l'étude se poursuivra dans un avenir proche.

Outre le démonstrateur « low-boom », Boeing a participé à un autre projet de supersonique avec la NASA. Cette étude d'un avion supersonique « n+3 » (3 générations d'avions à partir d'aujourd'hui) a été achevée en 2010. Boeing a soumis des données et les résultats de son étude à la NASA, clôturant pour l'instant sa participation à cette initiative. Boeing poursuit ses investissements en R&D dans ce domaine, et continue d'évaluer l'état de l'art pouvant aboutir à la concrétisation du transport aérien supersonique.

Projet SUGAR

La NASA a attribué le contrat SUGAR (*Subsonic Ultra Green Aircraft Research*) à Boeing dans le but d'identifier des concepts et des technologies de transport commercial subsonique à l'horizon 2030-2050 avec des objectifs ambitieux en matière de performances et de respect de l'environnement.

Le concept SUGAR Volt intègre de nombreuses technologies, dont une voilure allongée et renforcée, et un système de propulsion hybride associant des turbines à gaz et des batteries. Ce concept permet de parcourir de longues distances en utilisant des combustibles conventionnels ou des distances plus courtes grâce, essentiellement, à la motorisation électrique.



Le concept SUGAR Volt soumis par Boeing à la NASA.

Semblable au projet SUGAR Volt par sa voilure allongée et renforcée, l'avion SUGAR Freeze fonctionne au gaz naturel liquéfié. Des études ont démontré qu'une motorisation au gaz naturel permet de réduire la consommation de carburant et le niveau des émissions.

Le contrat SUGAR est arrivé à son terme en 2013. Boeing continue d'évaluer l'état de l'art qui permettrait à ce type de concept de voir le jour.

Autres recherches technologiques

Boeing a mis au point des démonstrateurs technologiques pour tester en vol de nouveaux matériaux, systèmes et équipements. À titre d'exemple, le programme Quiet Technology Demonstrator (QTD) fut l'un des premiers projets de ce type. En 2001, Boeing et Rolls-Royce ont développé un moteur plus silencieux grâce à des chevrons positionnés à l'arrière de la nacelle et des tuyères d'échappement. En 2005, des tests complémentaires ont permis d'affiner la conception des chevrons et de valider un système d'admission moteur bénéficiant d'un traitement acoustique. Résultat, ces nouveaux chevrons ont été adoptés sur les 787 Dreamliner, 747-8 Cargo et Intercontinental, ainsi que sur le 737 MAX, avec à la clé une réduction considérable du niveau de bruit, à l'intérieur et à l'extérieur de l'appareil.

Le programme ecoDemonstrator

En 2011, Boeing a lancé le programme ecoDemonstrator, un programme environnemental qui s'étale sur plusieurs années. L'objectif de ecoDemonstrator est d'évaluer de nouvelles technologies conçues pour améliorer les performances environnementales des avions commerciaux tout au long de leur cycle de vie.

Ce programme joue un rôle clé dans la stratégie environnementale de Boeing en procédant à des essais en vol permettant d'accélérer le développement de nouvelles



technologies conçues notamment pour réduire les émissions polluantes et sonores, aider les compagnies à améliorer l'efficacité de leurs appareils de l'embarquement à l'atterrissage, et optimiser le recyclage des appareils en fin de vie.



Le premier ecoDemonstrator, un 737-800, a volé en 2012 grâce au partenariat avec American Airlines et la FAA.

Lors d'un premier vol réalisé en 2012, une quinzaine de nouvelles technologies ont été testées sur un 737-800 NG d'American Airlines :

- **Bords de fuite adaptifs** : test d'un système conçu pour modifier la forme de l'aile pendant les différentes phases de vol ;
- **Tuyère adaptable** : test d'un système chargé d'ouvrir ou fermer les panneaux de carénage à l'arrière du moteur afin d'optimiser la forme de la tuyère lors des phases de décollage et d'atterrissage ;
- **Contrôle actif des vibrations du moteur** : test d'un nouveau système chargé d'amortir les vibrations du moteur ;
- **Pile à combustible régénératrice fonctionnant à l'hydrogène** : test d'un concept permettant de savoir si la pile à combustible peut générer suffisamment d'énergie pour alimenter les équipements des galeries ;
- **Optimisation de la trajectoire de vol** : un nouvel ensemble d'outils pour tablettes grâce auxquels les pilotes peuvent calculer l'itinéraire le plus efficace ;
- **Tapis de sol** fabriqués en matériaux recyclables.

L'ecoDemonstrator 737 a également été utilisé pour valider les améliorations aérodynamiques apportées par les nouvelles ailettes marginales (*Advanced Technology Winglet*) du 737 MAX. Cette technologie permet aux compagnies de



réaliser des économies de carburant supplémentaires pouvant atteindre jusqu'à 1,8 %.

Le programme ecoDemonstrator s'est poursuivi en 2014. Le programme a utilisé un 787 de Boeing et testé plus de 30 nouvelles technologies et matériaux en vue d'une utilisation future :

- **Tuyère de moteur en composites à matrice céramique** (en collaboration avec la FAA) ;
- **Améliorations dans le domaine de la gestion du trafic aérien** grâce à l'utilisation d'une connexion à haut débit Panasonic exConnect ;
- **Innovations apportées au poste de pilotage** : écrans tactiles et affichage des paramètres primaires de vol ;
- **Contrôle des performances en vol** (micros et surveillance sans fil) ;
- **Utilisation de matériaux composites** : trappes à carburant en fibres de carbone et injection de résine pour les carénages arrière.



L'ecoDemonstrator 2015 a volé dans le cadre d'une coopération avec la NASA et le groupe TUI.

L'ecoDemonstrator utilisé en 2015 était un Boeing 757 loué pour la campagne d'essais ; les technologies principales ont été testées en collaboration avec la NASA. Les tests suivants ont été notamment effectués sur le 757 :

- **Contrôle actif de l'écoulement sur l'empennage vertical**, en collaboration avec la NASA dans le cadre du projet ERA (*Environmentally Responsible Aviation*)



- **Test de revêtements anti-insectes sur l'aile droite** : baptisé « *Insect Accretion Migration* », ce test a également été mené en collaboration avec la NASA dans le cadre de son programme ERA. L'Agence spatiale américaine a fourni les principaux panneaux de bord d'attaque montés sur l'aile droite et qui incorporaient des revêtements de surface réalisés en nanotechnologie. Les tests avaient pour but de valider l'efficacité des revêtements contre la contamination des insectes, un phénomène qui peut augmenter la traînée et la consommation de carburant.
- **Ailettes marginales (*Advanced Wing Technology*)** : L'aile gauche du Boeing 757 a été modifiée pour tester des technologies permettant un meilleur écoulement laminaire et destinées aux ailes de futurs appareils.

Recherche sur les biocarburants durables

En association avec des compagnies aériennes partenaires et dans le cadre du programme ecoDemonstrator, Boeing s'est positionné en tant que chef de file des recherches consacrées aux biocarburants. Conformément à notre engagement dans la protection de l'environnement et d'un développement durable de notre secteur, Boeing a ouvert la voie dans le développement et la commercialisation de biocarburants durables pour l'aviation. Un nouveau carburant aéronautique durable est indispensable pour réduire les émissions de carbone générées par les avions de ligne, réduire la dépendance de notre industrie aux combustibles fossiles, et atteindre l'objectif ambitieux fixé par notre secteur, à savoir une croissance neutre en carbone à partir de 2020 alors même que la flotte mondiale ne cesse d'augmenter.

Boeing se concentre sur un biocarburant durable « économique » (« drop-in »), qui peut être directement mélangé au kérosène sans modification des appareils, des moteurs ou des infrastructures de ravitaillement. L'objectif de Boeing d'ici 2016 est que le biocarburant durable réponde à 1 % de la demande mondiale de kérosène, soit plus de 2270 millions de litres de kérosène. Ce seuil de 1 % ouvre la voie à l'augmentation des investissements et l'accélération du développement et de la distribution des biocarburants durables sur le marché.

Les biocarburants durables pour l'aviation peuvent être issus de sources biologiques telles que des plantes ou des algues, mais aussi de matières premières non comestibles telles que les huiles de cuisson usagées, les déchets de graisses animales et les déchets solides urbains.

###

Contact : Antoine Balas, Boeing France - Tel : 01 70 37 07 47

Octobre 2015