

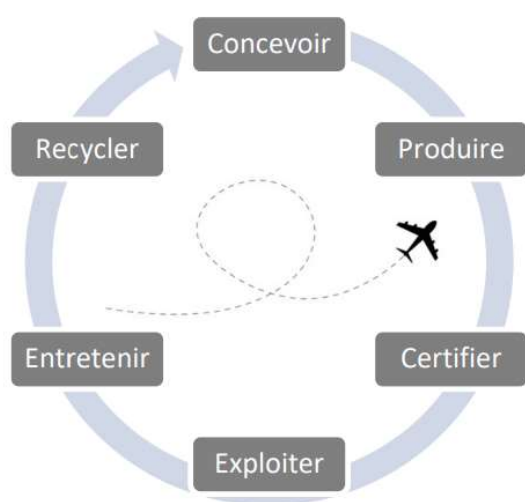
Transformer l'aviation : un virage engagé vers les enjeux de demain

USAIRE Student Awards 2021 – *“What aviation for tomorrow’s world?”*



INTRODUCTION

Le secteur aéronautique est un secteur en constante évolution, avec une dynamique d'innovation permanente. La crise du Covid 19, en impactant durement tous les acteurs de l'aérien, est également une opportunité permettant au secteur de revoir ses objectifs en ce qui concerne l'aspect écologique et technologique. Loin de céder face à l'ampleur d'une telle crise, il faut que cette dernière soit un catalyseur permettant la transformation du secteur. Dans sa recherche d'évolution, l'aéronautique doit toujours prendre en compte les trois piliers suivants : assurer la sécurité des vols, permettre une rentabilité financière et désormais répondre aux enjeux écologiques. A travers une analyse à différentes échelles du cycle de vie d'un avion, nous voulons mettre en exergue les avancées de l'aviation civile et militaire qui permettront la transformation en profondeur du secteur afin de s'adapter aux nouvelles exigences contemporaines.



La phase de conception a un rôle prépondérant à jouer dans cette transition, à travers les évolutions technologiques qui permettront d'imaginer et de concevoir un avion plus vert, plus performant, et toujours plus fiable. Ces innovations technologiques auront également un rôle significatif dans la production, permettant de répondre de façon plus efficiente au triptyque "coût qualité délais". Nous commencerons par exposer dans un premier

temps la nécessité d'innover et d'adapter nos méthodes de production pour répondre aux enjeux de demain.

D'autres leviers sont aussi à prendre en compte, comme la réglementation déterminée par les institutions gouvernementales permettant d'encadrer le secteur sur les aspects sécuritaires, écologiques et sociétaux. De plus, l'aviation du futur devra recourir à une nouvelle façon d'exploiter les aéronefs. En repensant le modèle économique, le réseau aérien et la manière de voyager des passagers, les compagnies aériennes, ont, elles aussi leur rôle à jouer dans cette transformation. Ainsi, nous verrons dans un deuxième temps que ce n'est pas seulement l'avion qui doit se métamorphoser pour répondre aux enjeux de demain, mais tout son écosystème.

Dans l'objectif d'une aviation toujours plus fiable, nous verrons dans un troisième temps que l'émergence de la Big Data et de la réalité augmentée permettront à la maintenance d'anticiper toute panne assurant ainsi un meilleur suivi de la vie opérationnelle des avions et de leur disponibilité. Enfin, il est important de noter que près de 30 000 avions de ligne sont aujourd'hui en circulation dans le monde, et ce nombre est voué à augmenter dans les années à venir. Malgré la crise liée au Covid-19, l'IATA prévoit la multiplication du nombre de passagers par 2 d'ici 2039, soit 8,5 milliards de passagers contre 4,5 milliards en 2019. Ainsi la question du recyclage des aéronefs en fin de vie se pose. Penser dès la conception à la réutilisation des pièces et au recyclage des matériaux utilisés serait ainsi le dernier maillon de la chaîne permettant d'atteindre l'ultime objectif de la création d'un cycle de vie vertueux.

PARTIE I - Imaginer les ruptures technologiques de demain commence dès aujourd'hui.

Face aux nombreux défis auxquels est confronté le secteur aéronautique, innover est plus que jamais une nécessité. Innover pour se relever d'une crise sans précédent, pour convaincre et démontrer à l'opinion publique sa forte implication quant au défi écologique et environnemental, mais aussi pour intégrer les technologies révolutionnaires de demain.

1. Des technologies disruptives au service de la conception

L'avenir de l'aéronautique se joue en grande partie dès l'étape de la conception. Les nouvelles technologies se doivent d'être disruptives, de casser les codes afin de proposer de nouvelles solutions innovantes que nos prédécesseurs n'auraient pas imaginé. Les objectifs de ces technologies sont cependant différents entre les secteurs du civil et de la défense. Dans le secteur de la défense, c'est la recherche de l'innovation qui prime, pour obtenir et préserver une avance technologique par rapport aux adversaires. Dans le civil, la société est à la recherche d'une aviation toujours plus sûre, plus économique, et désormais plus respectueuse de l'environnement. Effectivement une pression sociale pour la décarbonation de l'aéronautique, ou « flygskam », s'est renforcée malgré de nombreux défis déjà relevés en ce sens.

En effet, si aujourd'hui les émissions de dioxyde de carbone du secteur ne représentent « que » 2 à 3 % des émissions mondiales, soit environ 1 gigatonne de CO₂ par an, ce chiffre est voué à exploser avec le développement exponentiel de nouveaux marchés dans les pays émergents. Sans amélioration, et avec une demande s'accroissant de 4% par an, les émissions de CO₂ pourraient atteindre 3,5 gigatonnes de CO₂ d'ici 2050 selon le cabinet McKinsey & Company.

Toutefois l'industrie aéronautique prépare dès aujourd'hui l'aviation de demain. Airbus a déjà lancé le programme ZEROe qui vise à développer le premier avion commercial zéro émission au monde, d'ici 2035. Ce programme se penche principalement sur l'hydrogène en tant que solution. De plus, en 2024, le plus grand centre européen de recherche dédié aux technologies de l'hydrogène verra le jour à Toulouse sous la forme d'un technocampus de 15 000 m². Mais selon Olivier Andriès,

directeur général du groupe Safran, l'hydrogène est « une » solution mais pas « la » solution. En effet, si l'hydrogène est une des solutions qui pourraient être viables d'ici 2035, des solutions alternatives seront mises en place auparavant, permettant ainsi de réduire progressivement l'empreinte écologique des aéronefs. En ce sens, Safran et GE Aviation ont présenté le nouveau programme RISE (Revolutionary Innovation for Sustainable Engines), destiné à concevoir un tout nouveau type de moteur aéronautique, non caréné, et hybride : propulsion par kérosène, hydrogène, SAF (Sustainable Aviation Fuel) et électrique. Cependant, à l'heure actuelle, l'hydrogène est entre 3 et 6 fois plus cher que le kérosène, et la technique de production est encore bien trop polluante. Si les voyageurs ne sont pas prêts à payer 2, 3 voire 4 fois plus cher les billets d'avions permettant d'accéder ainsi au « Green Premium » introduit par Bill Gates dans son livre *'How to avoid a climate disaster'*, et que l'ensemble des acteurs aéronautiques ne décident pas ensemble d'engager ce virage, la vaille vers l'échec face à une concurrence utilisant toujours des carburants polluants tels que le kérosène peut sembler inévitable. C'est pourquoi un important travail de recherche est en cours afin de rendre la production d'hydrogène moins polluante mais aussi moins coûteuse.

De nombreuses solutions alternatives au kérosène peuvent être imaginées à court, moyen et long terme. Quoi de mieux que l'énergie solaire, 100% naturelle et gratuite, pour inventer l'avion de demain ? C'est ce qu'a imaginé Bertrand Piccard en réalisant le Solar Impulse, le premier avion à avoir effectué un tour du monde zéro émission. Même si à l'heure actuelle, les limitations de charge ainsi que la faible vitesse de cet avion électrique ne peuvent pas encore laisser imaginer un avion commercial électrique, les recherches sont en cours et nous pouvons espérer le

développement de cette technologie dans un futur à moyen / long terme.

A plus court terme, la consommation énergétique des avions au sol peut être diminuée assez simplement. La compagnie EasyJet estime que 4% de sa consommation annuelle de kérosène est liée aux déplacements des avions au sol. Il y a pour un roulage moyen de 21 minutes, départ et arrivée inclus, une consommation de 231.84 kg de kérosène par les réacteurs d'un A320 et 30kg par son APU. Pour économiser ce carburant, nous pourrions voir dans un futur assez proche, des robots électriques et autonomes accompagnant les avions entre le seuil de piste et la porte de l'aérogare. Cette solution étant compatible avec les avions déjà existants, dans un futur à moyen terme, les avions pourront posséder leurs propres systèmes de propulsion électrique, ou à hydrogène, au sol. C'est ce que tente de développer Safran Landing System, ainsi que EasyJet en coopération avec Cranfield University, et bien d'autres acteurs de l'aéronautique.

Malgré les désagréments sonores et la pollution que génèrent les avions supersoniques, le rêve du Concorde semble se réveiller chez les entreprises outre-atlantique. De nombreuses entreprises américaines comme 'Boom Technology', 'Spike Aerospace' et 'Aerion Corporation' veulent développer un avion commercial supersonique. L'entreprise Virgin Galactic s'est elle aussi lancée dans la course au supersonique tandis qu'Aerion Corporation a récemment arrêté ses activités en ce début d'année 2021. Spike Aerospace veut concevoir un avion d'affaire transportant entre 12 et 18 passagers et volant à Mach 1.6. Initialement l'avion était prévu pour 2018, puis désormais pour 2023 avec un premier vol début 2021, mais il n'en existe aujourd'hui que des vues d'artistes. Quant à Boom Technology dont le slogan est 'The future is supersonic', l'entreprise prévoit la mise en service de son avion le *Boom Overture*, pour transporter de 65 à 88 passagers à une vitesse de Mach 1.7 tout en étant zéro-carbone ! Nous pensons qu'un avion supersonique respectueux de l'environnement est un défi ambitieux et complexe à relever. De notre point de vue, le supersonique ne

concernera pas dans un premier temps le grand public car la majorité des passagers recherchent des billets aux prix de plus en plus attractifs ainsi que du confort plutôt que la rapidité du trajet. Cependant ces avions supersoniques pourraient intéresser certains chefs d'entreprises et responsables d'Etat qui souhaiteraient se déplacer de façon très rapide autour de la planète, mais ici encore, nous pensons qu'aménager un espace de travail avec une connexion haut débit dans des avions d'affaires déjà très rapides pourrait être suffisant, du moins à court terme.

Dans le secteur militaire, ce sont les performances qui sont recherchées en priorité. Dans le futur, les aéronefs militaires devront être de plus en plus interconnectés, rapides, et furtifs, avec des capteurs de plus en plus performants selon le Colonel Jean-Christophe Boeri, actuellement responsable valorisation de l'innovation civile et militaire chez Dassault Aviation. La défense du futur passe par une meilleure coopération entre les différents systèmes de défense qu'ils soient aériens, terrestres, marins et sous-marins ou encore spatiaux. Cette interconnectivité sera permise par l'acquisition et le transfert d'un nombre important de données en temps réel, réalisée à l'aide de capteurs de plus en plus nombreux et performants. Des pistes exploratoires sont également en cours de développement telles que l'ordinateur quantique, véritable révolution permettant de multiplier considérablement la puissance de calcul et ainsi diminuer le temps de traitement des données. Enfin, un autre enjeu est d'améliorer le temps de transfert des données tout en améliorant également leur sécurité et donc leur cryptage. Le programme européen SCAF (Système de Combat Aérien du Futur) entre la France, l'Allemagne et l'Espagne est un bel exemple permettant d'illustrer notre propos. En effet, l'objectif du SCAF est d'améliorer les capacités d'attaque et de défense grâce à une grande interconnectivité entre les différents systèmes du SCAF, c'est-à-dire l'avion de combat Next Generation Fighter (NGF) ainsi que des drones et d'autres systèmes au sol, en mer ou dans l'espace. L'ensemble sera interconnecté au sein d'un cloud de combat. A l'heure où les programmes de

coopération pour la défense se développent, les différents Etats pourraient vouloir mutualiser leurs moyens de défense aériens pour à la fois réduire les coûts, mais aussi permettre les opérations militaires communes entre pays alliés grâce à une meilleure compatibilité entre systèmes aériens militaires.

L'intelligence artificielle pourra elle aussi avoir son rôle à jouer dans la défense de demain. En effet, cette dernière pourrait permettre une plus grande réactivité pour la protection de l'espace aérien. Le temps de détection d'une menace par un opérateur humain peut prendre plusieurs minutes, alors que ce temps pourrait être minimisé par le biais de l'interconnectivité des systèmes, l'anticipation et l'aide à la décision grâce à une intelligence artificielle.

Enfin, au-delà de l'aviation telle que nous la connaissons aujourd'hui, de nouveaux moyens de transport sont amenés à se développer. Tout d'abord, les taxis volants, offrant des mobilités supplémentaires, tendent à émerger. Loin de remplacer le transport aérien ou nos transports routiers, ces aéronefs taxis pourraient faciliter les déplacements intermodaux et devenir la passerelle accélérant les mobilités entre les aéroports, les gares ferroviaires, et les ports maritimes sans pour autant exiger de nombreuses infrastructures.

Enfin, bien qu'ils aient disparu suite au malheureux accident du Hindenburg en 1936, les dirigeables ou les Zeppelins pourraient bien vivre leur grand retour. Non pas pour faire du transport de passagers d'un point A à un point B, mais pour proposer, à proximité des grands espaces et parcs naturels ou au-dessus des plus grandes merveilles du monde, des itinéraires touristiques d'une journée pour faire découvrir à une centaine de passagers une nouvelle manière de faire du tourisme. En effet, les voyageurs étrangers, toujours à la recherche d'expériences nouvelles mais surtout de confort, pourraient apprécier de survoler le grand canyon américain, le parc national du Serengeti, ou longer la grande muraille de Chine, tout en étant à bord d'un Zeppelin électrique, propulsé par exemple par énergie solaire, proposant un restaurant, un bar ainsi

qu'un espace panoramique pour profiter de la vue.



Airlander 10, ballon dirigeable hybride

2. Révolutionner la production

L'innovation doit donc être disruptive au sein des bureaux d'études, mais c'est aussi dans les usines de production que les outils de fabrication, la digitalisation, l'automatisation ainsi que les méthodes de montage doivent dans le futur se réinventer.

La mission de cette étape de la chaîne est d'assurer et de performer dans le triptyque « coût qualité délais ». Selon Max Blanchet, directeur exécutif d'Accenture Strategy, les chaînes de production doivent devenir plus flexibles et plus efficaces grâce à la digitalisation des usines, permettant ainsi de gagner du temps de fabrication tout en assurant la qualité des produits.

Il est important de noter que d'un avion à l'autre, selon la clientèle à laquelle il est destiné et ses possibles utilisations, le volume de ventes et donc de production diffère de façon importante. Ainsi, si l'A320 a été commandé à plus de 15 000 exemplaires depuis son premier vol en 1987, l'A380 n'a quant à lui été commandé qu'à 250 exemplaires environ. Afin d'améliorer l'efficacité de la chaîne de production, différents éléments devront être à la fois préstandardisés et modulaires ce qui permettrait la production d'éléments à destination de plusieurs modèles d'avions différents par la même chaîne de fabrication.

Associé à la montée en puissance de la digitalisation des moyens de production, le « Big Data Flow » est en vue de se développer. L'objectif sera de récolter un maximum d'informations sur les produits ainsi que d'assurer leur suivi en fabrication, mais aussi tout au long de la vie de l'aéronef. De plus, les

usines deviendront ‘intelligentes’, seront capables de gérer une complexité croissante, et seront moins sujettes aux perturbations. Le cloud industriel, appelé également Cloud Manufacturing, sera donc au centre de l’industrie aéronautique de demain, et sera un grand acteur de la flexibilité, de la personnalisation des produits, de l’augmentation de la productivité, et de la réduction des coûts. Collecter et analyser les données relatives à la production facilite la gestion des stocks et ressources, ainsi que la maintenance prédictive qui sera évoquée plus tard dans notre étude. Des algorithmes devront être mis en place afin de traiter ces données et de détecter d’éventuelles pannes, des produits défectueux, un manque de matières premières ou encore l’usure d’une machine. L’arrivée de l’intelligence artificielle intégrée à la production pourrait rendre le traitement de ces données encore plus performant à travers des algorithmes d’apprentissage. Dans cette optique, plusieurs entreprises dont Safran, Airbus et Thales, se sont associées dans un programme national, « *AI for Humanity* », afin de mutualiser leurs connaissances scientifiques et technologiques de pointe pour relever le défi de l’industrialisation de l’IA (intelligence artificielle).

Les usines de demain doivent faire converger le monde physique et le monde virtuel, en améliorant la communication entre machines, humains et ressources à la manière d’un réseau social, et ce, afin de faciliter la transmission d’informations pertinentes pour fournir une aide à la gestion de production. L’automatisation des tâches répétitives via des robots automatisés sera généralisée, et les ‘cobots’, ou robots collaboratifs, seront déployés, afin d’assurer la réalisation des étapes qui nécessitent le regard et la décision d’un opérateur humain. Enfin, avec le développement toujours plus rapide de nouveaux systèmes encore plus complexes dans le secteur aéronautique, la réalité augmentée va prendre une place prépondérante dans le montage des différents composants d’un avion. Elle permettra à un opérateur d’être assisté sur la procédure et la méthode de montage de certains composants complexes d’un avion, et

cela dans le but d’éviter des erreurs de manipulation qui pourraient engendrer des mises au rebut, des retards, et peser sur le coût de production. De plus le contrôle qualité pourra détecter plus rapidement les erreurs qui surviennent. Déjà de nombreuses entreprises ont commencé à développer et à commercialiser de telles solutions, mais nous pensons qu’elles se démocratiseront davantage dans les années qui suivent.

La connectivité entre les différentes usines entraînera une coopération facilitée entre les différents sites d’une même entité, mais également entre constructeurs et systémiers ou motoristes. Les entreprises pourront ainsi mieux faire coïncider leurs calendriers de production afin que les produits finis ne subissent pas de retard. Cette digitalisation de la production passera par l’utilisation de nouvelles technologies comme l’Internet of Things (IoT), qui consiste en l’interconnexion entre l’Internet, des objets, des lieux et des environnements physiques .

Enfin, si l’industrie veut vraiment se révolutionner, elle devra adapter ses outils de fabrication. La fabrication additive est une solution très prometteuse. Rolls-Royce est un pionnier dans ce domaine, puisqu’il est l’un des premiers motoristes au monde à intégrer dans son moteur Trent XWB-97 qui équipe l’Airbus A350, un composant de 1,5 m imprimé en 3D, qui fût un temps la plus grosse pièce jamais fabriquée par impression 3D pour l’aéronautique. Dans cette continuité, Rolls-Royce souhaite produire un important nombre de pièces par fabrication additive pour son futur moteur nouvelle génération, l’UltraFan. En effet la fabrication additive possède une grande valeur ajoutée : des éléments complexes peuvent être fabriqués tout en étant optimisés, et ainsi réduire la quantité de matière nécessaire à la fabrication d’une pièce et donc les coûts.



UltraFan, Rolls-Royce

PARTIE 2 – Adapter le transport aérien face à l'évolution de nos modes de vie

Voyager autrement, voici le défi que le secteur aéronautique a entrepris de relever. Les nouvelles technologies développées afin de répondre aux enjeux de demain vont devoir être certifiées, de nouvelles réglementations devront également être mises en place. Enfin, l'aviation du futur n'est envisageable que si tous les acteurs de l'aérien coopèrent ensemble afin de s'adapter à ces nouvelles façons de voyager.

1. Assurer une compatibilité entre l'avion de demain et son environnement

Le développement de nouvelles technologies dans le secteur de l'industrie va exiger un contrôle accru afin d'obtenir la certification des organismes concernés. De nouvelles technologies disruptives, jamais utilisées en aéronautique auparavant, vont devoir être certifiées pour la première fois. Les constructeurs et les organismes de certification devront notamment prêter une attention particulière aux nouvelles technologies liées à l'utilisation de l'hydrogène et à son stockage. En effet l'inflammabilité de l'hydrogène n'est pas la même que celle du kérosène, son énergie d'inflammation minimale est de 0.017 mJ/mole alors que celle du kérosène est d'environ 0.24 mJ/mole. Cela signifie que l'hydrogène peut s'enflammer plus facilement en recevant moins d'énergie que le kérosène qui nécessite 100 fois plus d'énergie pour s'enflammer. Si cela peut être un avantage dans l'allumage d'une flamme dans un réacteur, cela représente aussi un risque supplémentaire important en dehors de la propulsion, lorsque par exemple, un opérateur va manipuler un camion réservoir d'hydrogène pour faire le remplissage d'un appareil. De plus lors de la combustion, la chaleur dégagée par l'hydrogène liquide est de 120 kJ/g contre 44.5 kJ/g pour le kérosène, soit presque 3 fois plus. Cette chaleur élevée implique d'une part un risque accru lors de la combustion en cas d'incident ou d'accident, et va d'autre part rendre nécessaire l'utilisation de certains matériaux spécifiques dans la chambre de combustion ainsi que dans les modules de turbines.

La température de stockage peut également poser des problèmes de sécurité. En effet l'hydrogène liquide doit être stocké à -253°C,

ce qui nécessitera sûrement la certification particulière d'équipements mais aussi la formation des opérateurs au sol, qui pourraient se « brûler » en cas de contact avec l'hydrogène du fait de sa température très basse. Cela implique aussi qu'une petite élévation de la température augmenterait le risque de gazéification de l'hydrogène et donc une augmentation de la pression dans les réservoirs. Ceci est le phénomène de « boil-off ». L'étanchéité et la pressurisation seront deux critères à contrôler.

Enfin, un nouvel avion fonctionnant à l'hydrogène, l'électrique ou encore le solaire implique le développement de nombreuses nouvelles technologies qui devront subir des batteries de test afin de pouvoir les certifier pour l'aéronautique, ce qui augmentera considérablement le coût et le temps du développement. Selon Patrick Ky, directeur exécutif de l'EASA, toutes ces technologies pourront s'inspirer des utilisations spatiales de l'hydrogène, mais cela reste tout de même un autre contexte d'utilisation avec des contraintes très différentes.

Aujourd'hui, le processus de certification peut durer plusieurs années, et peut coûter jusqu'à environ 20% du coût d'un programme, ce qui est loin d'être négligeable. L'objectif pour la certification de demain sera donc de réduire les coûts mais aussi le temps de certification d'un avion. Pour cela, encore une fois, la digitalisation et le monde numérique peuvent apporter une touche innovante dans cette étape du cycle de vie de l'avion. Déjà, Dassault Systèmes propose un environnement collaboratif '3DEXPERIENCE' qui permet de connecter les constructeurs avec les organismes de certification, à travers une plateforme d'échange mais permet aussi aux fabricants d'avions, de moteurs ou autres équipements, de développer et de certifier rapidement les nouvelles avancées technologiques.

Enfin, face à une aviation qui évolue, les réglementations, elles aussi devront suivre cette tendance et ce afin de s'adapter au monde dans lequel nous vivrons demain. En attendant le développement de technologies futures prometteuses comme les avions à propulsion hydrogène, électrique ou encore solaire, une solution intermédiaire pour favoriser la réduction des émissions carbone est privilégiée : l'utilisation de carburants SAF (Sustainable Aviation Fuel). Ainsi, les carburants SAF étant plus coûteux que le kérosène, il serait juste qu'une réglementation internationale établissant un taux minimal d'utilisation de ces biocarburants soit mise en place, selon Olivier Andriès, directeur général du groupe Safran, et ce, afin d'encourager le virage vers une aviation plus propre sans pour autant fausser le jeu de la concurrence.

Malgré tous les efforts de recherche réalisés par le secteur aérien, le Think Tank Shift Project et un collectif d'anciens et actuels étudiants de l'école d'ingénieur Supaero (Supaero-Decarbo) prévoient que les objectifs de l'Accord de Paris pour limiter le réchauffement climatique à +2°C d'ici 2100 ne seront pas atteints si un « budget carbone » à ne pas dépasser avant 2050 n'est pas imposé à tous les acteurs du secteur.

Enfin, dès aujourd'hui les autorités doivent anticiper les innovations des transports de demain dans l'objectif d'éviter des conflits sociétaux et assurer la sécurité aérienne. Par exemple, avec la potentielle arrivée des avions commerciaux supersoniques dans les années à venir, l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) a pris une résolution en Octobre 2016 lors de la 39^{ème} Assemblée afin de garantir « qu'aucune situation inacceptable pour le public ne soit créée par un bang supersonique ». C'est dans cet optique que d'autres résolutions doivent être mises en place de manière avant-gardiste.



Bang supersonique, F-16

2. Exploiter l'avion de demain

L'aviation de demain sera vraisemblablement différente de l'aviation que nous connaissons aujourd'hui, avec l'apparition de technologies disruptives permettant de rendre les avions toujours plus économes, plus sûrs et plus performants. Il faudra alors également repenser tout l'écosystème aéronautique, à commencer par les aéroports, qui auront un fort rôle à jouer dans cette transition. En effet, l'utilisation des nouveaux carburants SAF, et à plus long terme potentiellement de l'hydrogène ou de l'électrique, nécessitera des installations adaptées. Il est à noter que si l'hydrogène possède une énergie massique élevée, son énergie volumique est faible, ce qui implique d'avoir des capacités de stockage importantes. Les aéroports devront également pouvoir être en capacité d'accueillir de nouvelles architectures d'aéronefs telles que les ailes volantes, comme le projet d'aile volante à hydrogène d'Airbus dénommé Blended-Wing Body (BWB). Le coût des investissements liés aux infrastructures aéroportuaires devant accueillir ces formes d'avion atypiques est élevé et peut être un frein au développement de ces avions métamorphes, qui permettraient pourtant des gains d'efficacité. Le contrôle aérien a également un rôle important dans le futur de l'aviation avec la possibilité d'optimiser et de fluidifier le trafic aérien, par le biais de l'automatisation de plus en plus poussée de la fonction, ce qui permettrait de renforcer la sécurité des vols et d'économiser du carburant. Cette automatisation devra être progressive et permettre tout d'abord aux contrôleurs une "aide automatique 'intelligente' pour la détection et la résolution de conflits, pour la surveillance et la coordination du trafic", selon David Gianazza, Docteur en Programmation et Systèmes Informatiques et Télécommunication.

Si la diminution des émissions de CO₂ est une des principales préoccupations de l'aviation aujourd'hui, il ne faut pas oublier que l'émission de NO_x (oxydes d'azote principalement responsables de l'effet de serre) contribue fortement au réchauffement climatique. Les NO_x étant émis généralement à haute altitude, une nouvelle manière de voler, à basse altitude et plus lentement pourrait

émerger. Se pose alors la question des nuisances sonores, un reproche fréquemment adressé à l'aviation et qui seraient amplifiées dans un contexte de vols à basse altitude.

A l'interface entre les aéroports et les compagnies la question de l'avenir des hubs se pose. Si cette stratégie est aujourd'hui la stratégie dominante de plusieurs compagnies aériennes comme Emirates avec le hub de Dubaï, la stratégie du point à point tend à se développer également car elle est de plus en plus plébiscitée par les passagers. Les connexions intermodales devront se renforcer dans les prochaines années afin de simplifier les trajets des passagers. L'intermodalité train/avion en particulier, est encore une "épreuve difficile, un parcours encore complexe" et il reste "beaucoup de choses à simplifier facilement sans que cela représente des investissements colossaux" selon Marc Rochet, Vice-président d'Air Caraïbes et Président de French Bee, au Paris Air Forum 2021.



Boeing 777-300ER Emirates, avec livrée de l'exposition universelle de Dubaï

Enfin, certaines compagnies, comme Air Caraïbes, réfléchissent d'ores et déjà à la diminution du nombre de pilotes à bord, qui sera permise par le développement exponentiel des technologies embarquées et qui entraînera une économie de coûts importante. Dans le domaine de la défense, avant-gardiste en termes d'innovations, cette question a déjà été soulevée depuis plusieurs années. En effet, le pilote de chasse, même très entraîné, est limité par sa capacité de résistance aux facteurs de charge,

jusqu'à environ 9 à 10G, limitant ainsi la possible utilisation de l'avion. Un avion de chasse sans pilote permettrait ainsi une plus grande latitude dans la réalisation de manœuvres critiques à des facteurs de charge plus élevés mais aussi de réaliser des missions opérationnelles potentiellement plus longues, ou des combats aériens à fortes manœuvres, sans risquer de fatiguer le pilote au bout de quelques minutes de duel aérien. Cela permettrait également de préserver la vie du pilote ou d'éviter une prise d'otage en cas d'éjection en territoire hostile. Les recherches autour des drones de combat sont d'ores et déjà assez avancées. Déjà en 2012, le nEURon, démonstrateur de drone de combat (ou UCAV, Unmanned Combat Air Vehicle) dont la maîtrise d'œuvre a été confiée à Dassault Aviation, a effectué son premier vol. Boeing a également développé plusieurs démonstrateurs comme le Boeing X-45. Enfin, un duel entre drones de combats et chasseurs pilotés, organisé par le Joint Artificial Intelligence Center (JAIC) est prévu durant l'été 2021. Contrairement à un pilote expérimenté qui aura des milliers d'heures de vol au compteur, l'intelligence artificielle est quant à elle capable d'en cumuler plusieurs millions.



Rafale M et nEURon, Dassault Aviation

PARTIE 3 - Accompagner l'avion de demain vers un cycle de vie vertueux

Assurer le maintien et la navigabilité des aéronefs, c'est la mission que doit relever la maintenance aéronautique. Cette dernière suivra ainsi de près les différentes évolutions du secteur et devra s'adapter rapidement. L'essor du Big Data rend plus que jamais la maintenance prédictive un atout intéressant pour le futur de l'aviation. Enfin, dans un souci écologique, il est de notre responsabilité collective de penser au recyclage d'un aéronef dès l'étape de la conception.

1. Analyser et anticiper pour assurer un meilleur suivi

Afin que les compagnies optimisent leur rentabilité, il est important que l'avion passe le moins de temps possible au sol. Or, il n'est pas rare que des pannes apparaissent de façon inopinée, chamboulant ainsi le planning déjà très serré de l'avion en question. La maintenance corrective, ou le fait de réparer une panne une fois celle-ci déclarée est un usage courant. Cependant, afin d'anticiper d'éventuelles pannes pouvant paralyser l'avion, la maintenance préventive est désormais pratique courante. L'avion se rend à son centre de maintenance selon un agenda précis et ce, afin d'anticiper un maximum de pannes dans un but sécuritaire mais aussi économique. Mais un nouveau système de maintenance, plus efficient et permis par l'émergence de la Big Data au sein de l'aviation voit le jour, la maintenance prédictive. Grâce à la multiplication des capteurs au sein des aéronefs, différentes données sont mesurées sur l'avion en temps réel, puis analysées par des algorithmes d'apprentissage. Le système serait alors capable de prévoir la fréquence des interventions et de les cibler. Selon une étude de McKinsey & Company, la maintenance prédictive pourrait permettre aux entreprises, tout secteur confondu, d'économiser jusqu'à 630 milliards de dollars d'ici 2025. Safran est précurseur dans le domaine puisque le groupe a développé le WEFA (Wireless Extension For Aircraft condition monitoring system), un système de transmission de données sans fil sécurisé permettant d'obtenir un suivi de certains avions commerciaux comme l'Airbus A320 et ainsi programmer les opérations de maintenance nécessaires sur les moteurs. L'offre Cassiopée, développée par Safran également, qui s'inscrit dans un contexte plus global d'amélioration de la sécurité des vols, de réduction de la consommation de carburant et d'optimisation

de la maintenance des aéronefs est déjà utilisée pour plus de 7 000 moteurs à travers le monde. De même, l'offre de data management Skywise lancée par Airbus en 2017 a déjà été adoptée par plus de 140 compagnies aériennes. Enfin, les start-ups sont des acteurs à ne pas négliger car certaines d'entre-elles pourraient bien apporter des solutions créatives. Ainsi, la start-up BeAm propose de l'impression 3D pour la création et la réparation de pièces métalliques des aéronefs notamment. Ces initiatives sont à la fois révolutionnaires et encore un peu timides face au développement technologique exponentiel que nous connaissons depuis des décennies. Les offres de service permettant d'assurer une maintenance prédictive font sans nul doute partie de l'écosystème aéronautique de demain. L'avenir de la maintenance aéronautique réside aussi dans une maintenance dite de proximité. En effet, le trajet d'un avion vers son centre de maintenance est un trajet qui s'effectue à vide et entraîne un coût économique et écologique important. C'est pourquoi nous pensons que les centres de maintenance et les compagnies doivent réfléchir ensemble à l'optimisation de ces trajets en particulier.

Enfin, le rôle des techniciens de maintenance est un rôle primordial. Afin de garantir la sécurité des vols, leur travail doit être d'une qualité irréprochable. C'est pourquoi le fort développement de la réalité augmentée pourrait avoir d'importantes applications dans le domaine, permettant ainsi aux opérateurs de mieux visualiser les opérations à réaliser et ce, afin de limiter tout risque d'erreur. Dans cet objectif, Thales a mis au point une application Thales Eye permettant à un opérateur d'être assisté en temps réel par un expert qui pourra le guider pas à pas à travers un système de vision partagée. Safran Electrical & Power a d'ores et déjà réalisé un dispositif d'assistance via la réalité augmentée pour les opérations sur les câblages. Tout laisse à penser que cette nouvelle

façon de travailler va se généraliser dans les années à venir, permettant ainsi un gain de productivité.

Toutefois, la maintenance civile et militaire pourraient diverger en certains points. En effet si l'acquisition et l'analyse des données d'utilisation des avions par les constructeurs et motoristes profite au secteur civil, c'est avec réticence que les armées du monde voient l'arrivée de la Big Data. Les gouvernements n'apprécient guère que des informations enregistrées sur des avions achetés pour leur défense, soient transmises aux constructeurs ou systémiers d'un autre pays, posant ainsi des problèmes de confidentialité et de souveraineté nationale. Ce problème a déjà été rencontré avec le système ALIS du chasseur F-35 dont les informations relatives à chaque vol, notamment pour les avions vendus à l'étranger, sont envoyées vers les serveurs de Lockheed Martin aux Etats-Unis, afin de prendre en charge les opérations, l'analyse prédictive et la chaîne d'approvisionnement en pièces détachées, via des applications Web sur un réseau distribué.

2. Recycler, l'ultime objectif pour la création d'un cycle de vie vertueux

La dernière étape du cycle de vie vertueux que nous voulons pour l'aviation de demain est le recyclage de l'avion dans son intégralité. C'est un chemin logique et en accord avec les valeurs que veulent défendre les entreprises du secteur. Le recyclage de l'avion est une responsabilité collective loin d'être utopique puisque nous savons déjà aujourd'hui recycler 90% d'un avion selon Patrick Lecer, président directeur général de Tarmac Aerosave, partenariat industriel entre Airbus, Suez Environnement, Safran Aircraft Engines, Equip'Aéro, TASC aviation et Aéroconseil, et première filière de déconstruction d'aéronefs en fin de vie entièrement respectueuse de l'environnement. Le procédé de recyclage est le suivant : après avoir vidé l'avion des fluides et matières dangereuses, l'avion est démantelé entièrement (y compris le moteur) pour en récupérer des pièces de rechanges qui pourront être réutilisées après avoir été contrôlées et/ ou remises en état. Ce qui n'a pas pu être réutilisé est broyé et pourra être fondu par la suite afin

de réaliser de nouvelles pièces. Se pose alors la question des matériaux composites, que nous ne savons pas à l'heure actuelle encore très bien recycler. Les matériaux composites étant voués à prendre une plus grande place dans les avions à l'avenir grâce à leur légèreté et leurs bonnes capacités de résistance à la fatigue et aux sollicitations mécaniques, se pose alors la question de la fin de vie de l'avion et de son recyclage. Nous l'avons vu précédemment, les acteurs du secteur regorgent de ressources et d'idées pour parvenir à une aviation plus verte et respectueuse de l'environnement. Ainsi, l'entreprise française Alpha Recyclage Composites a déjà mis au point une technique permettant de recycler les matériaux composites à base de fibre de carbone. Nous pensons qu'il est important de penser dès la conception aux possibilités de recyclage des matériaux utilisés car tout comme se pose le problème du recyclage des batteries pour d'éventuels avions électriques, d'autres matériaux, parce qu'ils sont novateurs vont nécessiter de nouveaux procédés de recyclage. L'aviation saura sans nul doute relever ce défi, forte des nombreux défis déjà relevés avec brio et de sa capacité d'innovation permanente.

CONCLUSION

Ainsi, nous avons pu voir à travers cette étude que le secteur aéronautique ne manque pas d'audace et de ressources et dispose de toutes les cartes pour imaginer l'aviation de demain. Cette dernière sera plus verte, mais aussi plus autonome. L'adage repris par Bertrand Piccard, « *The worst is not to fail, the worst is not to try* » illustre bien la persévérance du secteur, qui, peu importe les obstacles, a su, parfois contre toute attente, relever des défis auxquels personne ne croyait. Une fois de plus, il semblerait que le secteur puisse surprendre et embrasser la cause écologique tout en progressant sur les aspects technologiques, et ainsi prouver à ses détracteurs sa formidable capacité à se réinventer. Communiquer pour montrer son ingéniosité et son désir de changement, dans le dessein de bousculer les mentalités et faire rêver à l'aviation de demain, c'est ce que doivent accomplir l'ensemble des acteurs du secteur aéronautique, dès aujourd'hui.

BIBLIOGRAPHIE

Communications gouvernementales & organisations internationales

- Ministère de la Défense (France), *Lancement des travaux industriels des démonstrateurs du SCAF*, Février 2020, Ministère des Armées.
- Ministry of Defence (United-Kingdom), *Combat Air Strategy : An ambitious vision for the future*, Future Combat Air System Technology Initiative, Juillet 2018, gouvernement du Royaume-Uni.
- EASA¹, *European Aviation Environmental Report 2019*, 2019.
- Department of the Air Force (United-States), *Biennial report 2019-2020 : Bulding the Digital Force*, 2020, gouvernement des Etats-Unis.
- Clean Sky 2, *Hydrogen-powered aviation: a fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050*, Mai 2020.
- Région Occitanie, *Recyclage des matériaux composites : focus sur Alpha Recyclage Composites*, France.
- IATA², *20 Year Passenger Forecast*, Mai 2021.
- IATA, *Annual Review 2020*, 2020

Conférences, Congrès & Discours

- M. Rochet³, E. Schulz⁴, P. Vellay⁵, *Hubs ou point-à-point : quels modèles, quels avions pour demain ?*, Juin 2021, Aéroport le Bourget, Paris Air Forum 2021.
- O. Andriès⁶, G. Faury⁷, P. Ky⁸, *L'avion du futur sera-t-il vraiment hydrogène ?*, Juin 2021, Aéroport Le Bourget, Paris Air Forum 2021.

Thèses, Brevets & Rapports de recherche

- David Gianazza, *Optimisation des flux de trafic aérien*, Thèse au Laboratoire d'Optimisation Globale – CENA⁹, Ecole Nationale de l'Aviation Civile, Novembre 2004, 195 p.
- J. Manyika, M. Chui, P. Bisson et al., *The Internet of things : mapping the value beyond the hype*, Juin 2015, McKinsey Global Institute, McKinsey&Company.
- Prof. Dr. H. Kagermann, Prof. Dr. W. Wahlster, Dr. J. Helbig et al., *Recommendations for implementing the strategic initiatives INDUSTRIE 4.0 – Final report of the Industrie 4.0 Working Group*, Avril 2013, National Academy of Science and Engineering & German Research Center for Artificial Intelligence.
- X. Li, D. Li, J. Wan et al., *A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0*, 'Wireless Networks', vol. 23, n°1, Novembre 2015, p.23-41 (ISSN 1022-0038 et 1572-8196, DOI 10.1007/s11276-015-1133-7).
- N. Carvalho, O. Chaim, E. Cazarni et al., *Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in Sustainable Manufacturing*, 'Procedia Manufacturing', vol. 21, 2018, p. 671-678 (ISSN 2351-9789).

¹ European Union Aviation Safety Agency

² Association du Transport Aérien International

³ Vice-président d'Air Caraïbes et Président de French Bee

⁴ Président de SHZ Consulting

⁵ CEO de New and Next Consulting

⁶ Directeur général de Safran

⁷ Président-directeur général d'Airbus

⁸ Directeur Exécutif de l'EASA

⁹ Centre d'Etudes de la Navigation Aérienne

- F. Rossignol, Q. Loizeau, DIOTA, *MRO 4.0 : comment assurer le succès et le ROI d'un projet de digitalisation ?*, Cas de Safran Landing Systems, Janvier 2021, DIOTA – Digital-Field Solutions for Industry.
- Edward A. Lee, *Cyber Physical Systems : Design Challenges*, Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California à Berkeley, Janvier 2008.
- G. Chandramohan, *Electrically powered landing gear system for taxiing*, Cranfield University, 2018.

Communications d'entreprises

- Airbus Group, *Hydrogen propulsion to power future aircraft*, Septembre 2020.
- Airbus Group, *LIVE – Introducing #ZEROe*, Septembre 2021.
- Dassault Systèmes, *Comment la technologie va-t-elle façonner l'avenir ?*, Juin 2014.
- Safran Group, *L'exploitation des données au service de la maintenance des moteurs*, Juin 2019.
- Safran Electronics & Defense, *Cassiopée : Flight Data Management – Get connected to enhance your operations*, Avril 2018, Brochure de communication.
- Thalès, *Thalès au laval virtual : plongez au cœur de l'usine du futur*, Mars 2017.
- Safran Group, *Quand la réalité augmentée optimise la maintenance des câblages*, Février 2017, communication du groupe Safran.
- Dassault Systèmes, *Une fabrication zéro défaut : la virtualité immersive permet de détecter et corriger plus rapidement les erreurs*, Novembre 2016, The 3DExperience Magazine.
- Airbus Group, *Orders and Deliveries : Commercial Aircraft*, Juin 2021, www.airbus.com.
- Rolls-Royce, *3-D printed parts and new materials help Rolls-Royce to engine test success*, Octobre 2018.

Articles de presse

- Jean-Régis de Vauplane, *Pourquoi la maintenance prédictive va-t-elle révolutionner l'industrie ?*, Les Echos, Mars 2018
- J-C. André, L. Federzoni, S. Monneret et al., *Procédés de fabrication additive*, Ti 153 – Travail des matériaux – Assemblage, 5ème édition, Techniques de l'Ingénieur, Avril 1995.
- Interview de M. Blanchet¹⁰, *L'industrie X.0: les 6 piliers de ce nouveau paradigme*, L'Usine digitale, Octobre 2017.
- Guy Dutheil, *La très longue conversion de l'aéronautique à l'avion du futur*, Le Monde, Juin 2021.
- Yann Cochenec, *Défense: comprendre les enjeux autour du SCAF*, Air & Cosmos, Juin 2021.
- Florine Galéron, *Aérien : Comment surmonter une double crise*, T la revue de La Tribune, revue n°5, Juin 2021.
- Pierrick Merlet, *Avion décarboné : Une filière en pleine effervescence*, T la revue de La Tribune, revue n°5, Juin 2021.
- Philippe Rioux, *Aviation : l'été du redécollage ?*, La Dépêche, Juin 2021.

¹⁰ Directeur Exécutif d'Accenture Strategy