



What Aviation for
Tomorrow's World?
*Quelle aviation pour le monde de
demain ?*

USAIRE Student Awards

Sous le patronage du Ministre délégué
chargé des Transports,
Jean-Baptiste Djebbari

16th Edition
2021

Table des matières

Préface du Ministre Jean-Baptiste Djebbari	3
Nos sponsors	4
Membres du Jury 2021	5
Un mot du président d'USAIRE	6
ORAJe	7
Les lauréats 2021	8
Les prix 2021	9
USAIRE et les finalistes 2021 au Paris Air Forum	10
Les gagnants de l'édition 2021	12
Les deuxièmes lauréats	44
Les troisièmes lauréats	63
Les quatrièmes lauréats	84
Les cinquièmes lauréats	108
L'annonce du sujet 2022	126

Préface du Ministre Jean-Baptiste Djebbari

L'aviation aura sa place dans le monde de demain. A nous de la lui donner, ou plutôt, de la lui créer. A nous de lui assurer un avenir, et de protéger ainsi le nôtre. C'est le défi que doit relever notre génération – sans doute le plus grand de l'histoire de l'aéronautique, qui en a pourtant connu quelques-uns.

Des solutions existent déjà, comme les carburants alternatifs au kérosène. Des solutions sont en cours de développement, comme l'avion bas carbone, à hydrogène ou hybride-électrique. Et d'autres solutions restent à inventer.

Pour les trouver et les concrétiser, il nous faut de nouveaux visages, de nouvelles idées. Pour penser et construire l'aviation de demain, nous avons besoin de la jeunesse et de son audace, de sa fougue et de sa liberté. Nous avons besoin de penser hors des sentiers battus, sans auto-censure ; de voir plus grand, plus loin ; d'innover.

En participant aux USAIRE Student Awards, vous avez déjà commencé. Vous avez esquissé des pistes, tracé des chemins et ouvert la voie.

Sur cette route, il y aura toujours des esprits simplistes pour prétendre qu'il n'est pas de plus grand mal que l'aviation ; des esprits tristes pour alléguer que le désir de toucher le ciel et la nécessité de protéger la planète sont inconciliables et le seront à jamais.

Les contributions aux USAIRE Student Awards 2021 sont la meilleure réponse que nous pouvons leur apporter. Merci à tous les étudiants qui y ont participé pour leur engagement, leur enthousiasme et leur envie.

Vous nous démontrez que la décarbonation ne marque pas la fin de l'aviation, mais un nouveau départ.



**MINISTÈRE
CHARGÉ DES
TRANSPORTS**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Avec le généreux soutien de nos sponsors

Sponsors du gala



Sponsors des USAIRE Student Awards



Sponsors de la tombola



Brochure imprimée avec le généreux soutien de



Membres du jury

Franklin AUBER

Singapore Airlines

*

Nicolas BERTRAND

Air France

*

Rémy BONTE

Ministère des Armées

*

Carl CHEVILLON

Raytheon

*

Nathalie DOMBLIDES

DGAC

*

Enea FRACASSI

Corsair

*

Claire GUILHOT

Boeing

*

ORAJe

*

Vincent MÉRIAUX

Airbus

*

Pascal PARANT

AAR Corp.

*

Hadrien RHONAT

Rolls-Royce

*

Bruno STOUFFLET

Dassault Aviation

*

Nathalie STUBLER

Transavia

Un mot de notre Président, Carl Chevillon

Chères lectrices, Chers lecteurs,

Le sujet du Student Award 2021 avait été annoncé par le Ministre délégué en charge des transports, Jean-baptiste Djebbari, à l'occasion du Paris Air Forum 2020. S'associant avec l'idée d'impliquer la jeunesse dans la définition de l'aviation du futur, il a voulu soutenir l'association USAIRE dans cette démarche, ainsi que l'association ORAJe qui réunit les anciens lauréats de ce concours. Le ministre a ainsi reçu au sein de son ministère des représentants de cette dernière afin de les féliciter et de les encourager à prendre en main leur futur et celui de l'aviation qui permettra d'atteindre la neutralité carbone.

Créé il y a 16 ans par Michel Dubarry, à l'époque président d'USAIRE - les Students Awards visent à dynamiser les relations entre les grands acteurs du secteur, leaders d'aujourd'hui, avec les jeunes talents aéronautiques, leaders de demain. Ce lien entre la jeunesse et les industriels est fondamental pour la pérennité de notre industrie. Près de 100 travaux ont été reçus de la part de 133 étudiants de 55 universités, réparties sur 15 pays différents. Les 15 équipes sélectionnées ont pu assister au Paris Air Forum 2021 au Bourget au cours duquel, l'USAIRE avait organisé une rencontre avec des personnalités de notre industrie, puis un séminaire de préparation afin d'enrichir leur réflexion.

Un jury de professionnels issus d'AAR, Airbus, Air France-KLM, Boeing, Corsair, Dassault Aviation, la DGAC, le Ministère des Armées, l'association ORAJe, Raytheon, Rolls-Royce, Singapore Airlines et Transavia a sélectionné les lauréats et les prix ont été remis durant la cérémonie USAIRE des Student Awards qui s'est tenue à l'occasion du dîner de Thanksgiving 2021 de l'USAIRE.

Je vous souhaite donc une très bonne lecture de ces travaux.

Carl CHEVILLON
Président USAIRE

ORAJe

Organisation des Rencontres Aéronautiques de la Jeunesse

Intensify and sustain relations between our industries and the youth.

The organisation of aerospace meetings with European youth has been launched to enhance the relationships between students, young professionals and industry. ORAJe relies primarily on a group that counts now more than 200 young people. Members are all finalists and laureates of the USAIRE Student Awards over the last 15 years.

Through ORAJe, USAIRE is committed to bringing industry closer to the students and starting professionals. In this purpose, USAIRE sponsors, advises and supports these young talents to enable them making their first steps in the fascinating fields of Aerospace and Defence. The official kick-off of ORAJe took place on March 1st 2013 around Marwan Lahoud (then Airbus Group), before the members were received by Eric Trappier (CEO of Dassault Aviation), Patrick Gandil (DGAC) and other important aerospace stakeholders.

In 2017, ORAJe has started supporting the French Air Force in a teaching mission toward young student: they convey hand in hand a strong message on Aerospace excellence through the Brevet d'Initiation à l'Aéronautique in several high schools. 2019 saw the launch by the French Air Force of the working group for the programme Escadrille Air Jeunesse to which ORAJe was invited to actively participate.



ORAJe board with the 2020 Laureates at 2020 Paris Air Forum

These partnerships are dedicated to improve member's soft skills and to help them building up a professional network. ORAJe relies also on a large panel of events: breakfast-conferences with guest-speakers, visits of industrial plants, afterworks, congresses, USAIRE luncheons...

Premier Prix

Elias BOUZAR & Clément GARNIER
ESTACA

*

Deuxième Prix

Paul LE ROUX DE BRETAGNE & Sébastien SELLE
ENAC

*

Troisième Prix

Nicolas BAYEN & Arthur NICHANIAN
ESSEC Business School / Cranfield University

*

Quatrième Prix

Thomas BLANC & Charlotte HAMON
Cranfield University / ESTACA

*

Cinquième Prix

Léa GUIPOUY & Mathieu ROBAZZA
*Centrale Nantes & Audencia Business School / CentraleSupélec
& Centrale Nantes*

Lauréats 2021

Prix USAIRE Student Awards 2021

1er prix

Deux billets A/R **Singapore Airlines** pour Singapour
Une visite du site **Rolls-Royce** à Singapour
Deux iPads offerts par **OEM Services**
Une visite des sites de production de Collins Aerospace
Deux abonnements annuels à **Air&Cosmos**
Deux maquettes offertes par **Boeing**
Deux maquettes offertes par **Airbus**
Deux maquettes offertes par **Dassault**
Deux maquettes et des goodies offerts par **Embraer**
Deux chèques de 700 euros et des goodies offerts par **USAIRE**

2ème prix

Deux billets A/R offerts par **Air France**
Une visite des sites de production de **Collins Aerospace**
Deux maquettes offertes par **Airbus**
Deux maquettes offertes par **Dassault Aviation**
Deux maquettes et des goodies offerts par **Embraer**
Deux abonnements annuels à **Air&Cosmos**
Deux chèques de 500 euros et des goodies offerts par **USAIRE**

3ème prix

Deux billets A/R offerts par **Emirates**
Deux maquettes offertes par **Airbus**
Deux maquettes offertes par **Dassault Aviation**
Deux maquettes et des goodies offerts par **Embraer**
Deux abonnements annuels à **Air&Cosmos**
Deux chèques de 400 euros et des goodies offerts par **USAIRE**

4ème prix

Deux billets A/R offerts par **Transavia**
Deux maquettes offertes par **Airbus**
Deux maquettes offertes par **Dassault Aviation**
Deux maquettes et des goodies offerts par **Embraer**
Deux abonnements annuels à **Air&Cosmos**
Deux chèques de 200 euros et des goodies offerts par **USAIRE**

5ème prix

Deux maquettes offertes par **Airbus**
Deux maquettes offertes par **Dassault Aviation**
Deux maquettes et des goodies offerts par **Embraer**
Deux abonnements annuels à **Air&Cosmos**
Deux chèques de 200 euros et des goodies offerts par **USAIRE**

USAIRE s'est une nouvelle fois associée au Paris Air Forum pour accueillir les finalistes des USAIRE Student Awards le 21 juin 2021 au Musée de l'Air et de l'Espace au Bourget.



Ce fut l'occasion de confirmer le soutien d'USAIRE auprès des jeunes, notamment à travers une table ronde sur le sujet « Sustainable Aerospace and the Youth's aspirations » avec pour invités : Antoine Bouvier, directeur de la stratégie, M&A et affaires publiques chez Airbus et Gilles Garczynski, EVP Talent Management chez Safran. Un grand merci à eux !





**ADDITIVE MANUFACTURING METALLIC POWDERS
FOR THE AEROSPACE INDUSTRY**



**POWDER ON TIME,
EVERY TIME,
EVERYWHERE**





Elias Bouzar

Operations & Maintenance Last Year Student – Isae-ESTACA 2022

Passionate about transportation and particularly aerospace and automotive, I naturally joined ESTACA after my baccalaureate. During my cursus, I founded Vision'R within the aeronautical association of ESTACA, Flying West, a project consisting in developing a virtual reality flight simulator focused on intelligent flight training. Since last year, I'm also a member of the school's Climate and Environment committee.

After a professional gap year, I am following my final year of studies in Operations and Maintenance at ESTACA.

"Taking part in the technological evolution of our society" was a wish since high school. Now a few months away from my engineering degree, I am close to achieving this goal by dedicating my career to the aviation industry.

Clément Garnier

Operations & Maintenance graduated Student – Isae-ESTACA 2021

I am an airplane and glider pilot and above all an aviation enthusiast. I joined ESTACA after my preparatory classes and got involved in the aeronautical association of ESTACA, Flying West, in which I prepared students for the "BIA" and contributed to create a link between students and the industry through projects, conferences and interviews. This is where Elias & I met and built a friendship. I specialized in the



maintenance and operations sector. Following experiences at Jet Aviation and Robin Aircraft, I completed my end of study project at Dassault Aviation at the military support, working on the performance of maintainability of an aircraft in all its lifecycle. I am now in charge of aircraft maintenance synthesis at Dassault Aviation military support.

Participating to the USAIRE Student Awards 2021 was a great opportunity to catch a glimpse of the aerospace industry challenges and what role to play in tomorrow's world.

We hope you will enjoy our contribution to this reflection.

Elias BOUZAR &
Clément GARNIER

Rêvons, Réinventons l'Aviation

What Aviation for tomorrow's World?

Usaire Student Awards

2021



Introduction

Le secteur aérien traverse actuellement la plus grande crise de son histoire. La pression est forte pour tous les acteurs qui doivent assurer leur survie et préparer l'après-crise. Bien qu'elle continue de faire rêver les petits et les grands, les contraintes écologiques et sanitaires ont teinté l'aviation d'inquiétudes et d'une question qui est aujourd'hui sur toutes les lèvres :

Quelle sera la place de l'aviation civile dans le monde de demain ?

Depuis 2019, le transport aérien se retrouve au cœur d'une polémique concernant son impact environnemental et d'une prénotion : il serait l'une des causes majeures du réchauffement climatique.

Pour reconquérir son image de symbole d'innovation et de relation entre les cultures, le secteur doit se réinventer pour restaurer la confiance, son crédit et sa légitimité.

Les débuts de l'aviation ont incarné l'esprit pionnier, qui est cette capacité à se relier au futur en s'affranchissant du passé. Chaque bond dans le ciel puis chaque kilomètre parcouru

demandait un effort considérable. Mais c'est en refusant de croire que c'était impossible que l'on est passé du Flyer au Concorde. Après des décennies d'optimisation industrielle, le secteur doit se remettre en question et formuler de nouvelles visions pour assurer sa pérennité. Les prochains appareils seront disruptifs par leurs formes et leurs motorisations.

Mais que réserve le monde de demain ? Le renforcement des influences de la Chine comme nouvel acteur de l'ordre mondial et sa volonté de s'imposer comme puissance industrielle et militaire pourrait provoquer la fin d'un duopole historique aéronautique. Cela demandera une réorganisation à la fois du secteur civil mais également de la défense.

L'incertitude quant aux affrontements dans le monde de demain demande de repenser les systèmes de combat et leur intégration dans les armées. La maîtrise du domaine spatial sera également une clé de la souveraineté dans le futur.

Dans cette réflexion sur le monde de demain, nous nous demanderons :

Quels sont les leviers qui permettront d'assurer la durabilité de l'aviation civile au cours du prochain siècle ?

Nous nous intéresserons dans un premier temps au monde de demain et aux contraintes qui le caractériseront.

Puis nous questionnerons les objectifs de croissance du secteur aérien face aux enjeux climatiques pour ensuite identifier les leviers d'action politico-économiques et technologiques de l'aviation civile.

Enfin, nous évoquerons le domaine de la défense et nous interrogerons sur la place occupée par le vecteur aérien dans l'armée du futur.

SOMMAIRE

Introduction	2
I. Le monde de demain	4
II. L'aérien face à sa croissance	9
III. Les leviers de l'aviation	12
A. Les levier politico-économiques	12
B. Les leviers technologiques	18
IV. Quelle vision pour la défense ?	24
A. Le combat de demain	24
B. La souveraineté spatiale	27
Conclusion	29
Bibliographie	30

I. Le monde de demain

Imaginer le monde de demain et le rôle que l'aviation pourra y jouer est un exercice complexe. Avec l'imagination, il faut de la méthode. On ne peut prédire l'inattendu, mais on peut penser au pire et proposer des feuilles de route pour faire évoluer le secteur vers des scénarios plus optimistes. On anticipe pour prévenir.

1.1 Vers une augmentation du trafic mondial

Si en Europe, la "honte de voler" va limiter dans une certaine mesure l'envie de voyager dans les airs, ce ne sera sans doute pas le cas en Asie-Pacifique et en Afrique où l'on estime au contraire que la demande va exploser avec la multiplication des nouvelles classes moyennes et du tourisme de masse. [1]

Les trajectoires de croissance du nombre de passagers mondial envisagées par l'IATA (2021) au rétablissement des niveaux de 2019 sont estimées à 3,2% à partir de 2023 durant les vingt prochaines années. [2]

Les prévisions du marché de livraisons d'appareils commerciaux faites par Boeing (2020) et Airbus (2019) viennent confirmer

cette tendance en misant et une demande de plus de 40 000 appareils sur 20 ans dont presque la moitié en Asie-Pacifique. [3]

1.2 L'ère du changement permanent

Le monde de demain subira de plus en plus les effets dévastateurs du changement climatique. La hausse de température de l'atmosphère et des océans couplée à la modification des écosystèmes (déforestation, désertification, fonte de la banquise et du pergélisol, acidification des océans...), engendra l'augmentation de la fréquence, de l'intensité et de la durée d'événements météorologiques, sanitaires ou alimentaires. [4]

I. Le monde de demain

Des tensions sociales et politiques dues aux migrations climatiques (catastrophes climatiques, super sècheresses, accès aux ressources vitales, submersions) viendront changer l'équilibre actuel du monde.

Plus que jamais, la capacité à s'adapter et se réinventer deviendra, pour l'aviation comme pour tout autre secteur, un enjeu de survie dans un monde plus instable. De nouvelles pandémies limiteront sans doute encore les libertés de voyager.

De nouvelles formes de coopérations (interarmées, aides d'urgence, lutte contre les incendies) devront naître pour préserver les équilibres nécessaires à la traversée du XXI^{ème} siècle dans les meilleures conditions.

Pour s'adapter à un état de changement permanent, les maîtres mots de ce siècle seront flexibilité, coopération et résilience.

Pour s'adapter à un état de changement permanent, les maîtres mots de

ce siècle seront flexibilité, coopération et résilience.

1.3 Quelle géopolitique dans le monde de demain ?

Le monde de demain pourrait voir le développement de nationalismes et de protectionnismes partout dans le monde.

La politique américaine post-Trump sera-t-elle vraiment différente ? Pourra-t-elle à elle seule redonner une nouvelle dynamique au multilatéralisme mondial ?

Ensuite les volontés expansionnistes de la Chine et les tensions territoriales que cela amènera pourraient créer une dégradation des relations internationales. Celle-ci ambitionne de se placer à hauteur d'Airbus et Boeing. Il est fort probable que l'approche environnementale de la Chine sur l'aérien soit focalisée sur le progrès technologique et moins sur les politiques publiques contraignantes.

1.4 La feuille de route du secteur

La feuille de route du secteur aérien est désormais bien tracée (Fig 1) et se séquencera en trois phases qui traiteront du renouvellement des flottes par des avions

modernes, du développement progressif des biocarburants SAF (Sustainable Aviation Fuel), des propulsions disruptives et de leur mise en service.

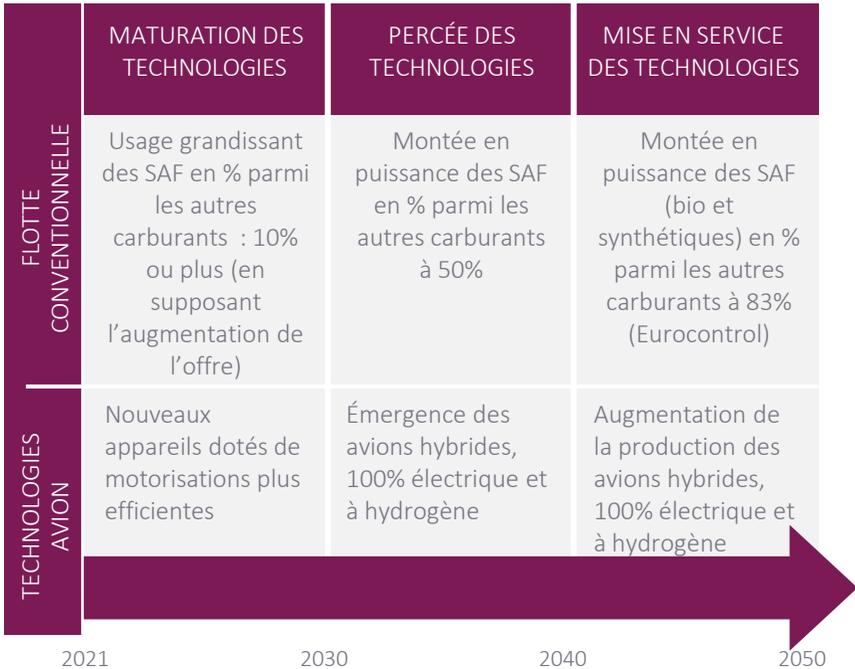


Fig 1 : Aircraft Technologies & Energy timeline 2021-2050 – Source Eurocontrol [5]

1.5 Quelle conséquence de la crise du Covid-19 sur les mobilités professionnelles ?

La pandémie de la Covid-19 a très fortement ébranlé le segment des voyages d'affaires pour les compagnies aériennes traditionnelles. À titre d'exemple, celui-ci

représente en France 20% des voyages aériens mais il contribue à hauteur de 55 à 75% des profits des compagnies. [6]

I. Le monde de demain

La pandémie a eu pour effet d'accélérer la substitution des voyages d'affaires par la généralisation du télétravail et de la visioconférence. Ce monde numérique permettant de faire voyager uniquement la voix et l'image s'est avéré être la meilleure alternative pour les entreprises durant la crise, permettant de réduire les coûts financiers, environnementaux ainsi que les risques de contamination au virus.

La visioconférence pourra-t-elle remplacer durablement les voyages d'affaires dans le monde de demain ?

Selon la dernière étude de la Chaire Pégase [6], le recours à la visioconférence ne pourra pas substituer le besoin de rencontrer les personnes avec qui l'on travaille pour créer une relation de confiance.

La majorité des intervenants sondés dans cette étude déclare avoir eu du mal à lancer de nouveaux projets ou acquérir de nouveaux clients. Le lien humain reste primordial pour la prise de décision.

Il est possible que le télétravail et la visioconférence trouvent une place plus importante dans le monde de demain, mais la substitution des voyages d'affaires pour

certains types de déplacements professionnels provoquerait des impacts économiques conséquents à long terme. Environ 40% des déplacements aériens professionnels pourraient ne pas être rétablis à long-terme.

Les compagnies aériennes traditionnelles ont construit leur modèle économique principalement sur les recettes de la clientèle d'affaires. Celles-ci devront s'adapter à la réduction de la demande en renforçant par exemple les segments "loisir" et VFR (Visiting Friends & Relatives)" qui continueront de prospérer. Elles devront également faire évoluer leurs programmes de fidélité.

1.6 Les atouts de l'aviation privée

À la différence des compagnies aériennes, le secteur de l'aviation privée a connu une réelle expansion durant la crise sanitaire. Il apporte une sécurité à ses utilisateurs et diminue le nombre de points de contacts durant le voyage.

L'évolution grandissante du marché général de l'aviation, des classes moyennes très aisées

I. Le monde de demain

et ultra-riches des pays en voie de développement incite à croire que le secteur connaîtra une croissance des vols et de sa flotte durant les prochaines années.

1.7 L'aviation privée comme démonstrateur du voyage décarboné

La clientèle soucieuse de l'image qu'elle renvoie sera de plus en plus préoccupée par le caractère écologique de son voyage. La compensation carbone est d'ores et déjà un argument marketing employé par les courtiers. [7] Le secteur de l'aviation privée et d'affaires s'est engagé depuis 2009 à réduire ses émissions en optimisant ses opérations ou en favorisant l'utilisation de carburants durables. [8]

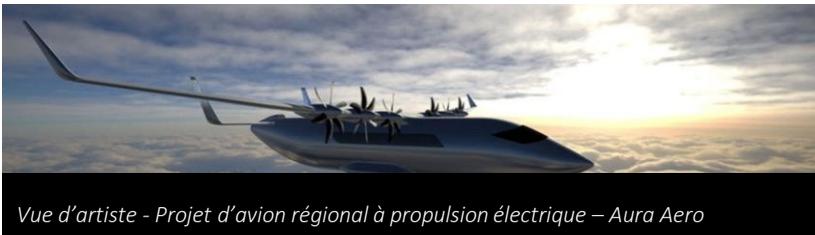
Les premiers appareils à propulsions électrique et hybride auront la taille d'un jet privé léger. C'est l'occasion pour le secteur de devenir pionnier du transport décarboné sur le segment des vols inférieurs à mille

kilomètres qui constitue une forte part des vols privés et d'affaires. La promotion d'une utilisation plus verte de l'aviation privée et d'affaires actuelle permettrait de redynamiser les aéroports régionaux et de montrer la voie à l'aviation civile.

L'entreprise israélienne Eviation pourrait être précurseur dans ce domaine avec son avion à propulsion électrique Alice promettant de transporter 9 personnes sur une distance de 800 km avec une potentielle entrée en service dès 2024. [9]

En France, l'entreprise Aura Aero a l'ambition de développer un avion à propulsion électrique de 19 places (ERA) à destination du transport régional d'affaires pour 2026. [10]

L'uberisation de la société s'appliquera-t-elle à ce secteur avec le développement du jetpooling permettant de partager un jet entre voyageurs ?



Vue d'artiste - Projet d'avion régional à propulsion électrique – Aura Aero

II. L'aérien face à sa croissance

Le transport aérien connaît depuis sa naissance une croissance quasi continue et à toute épreuve. Selon l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), depuis 1995, le trafic aérien mondial de passagers a enregistré un taux de croissance moyen annuel de 5% et ce en dépit des crises qui l'ont touché (11 Septembre 2001, SRAS, crise financière de 2008).

Les optimisations technologiques ont permis de réduire drastiquement les émissions de CO₂ du secteur. Cependant, les leviers technologiques traditionnels (réduction de la masse, de la trainée aérodynamique, amélioration de l'efficacité des moteurs) ne suffisent plus à compenser la croissance du secteur qui devrait se poursuivre. L'Accord de Paris signé en 2015 a pour objectif de limiter le réchauffement

climatique à +2°C, si possible à 1,5°C par rapport à l'époque préindustrielle.

Pour y répondre, le secteur aérien s'est engagé à contenir ses émissions de CO₂ en plafonnant ses émissions à partir de 2021 (croissance neutre en carbone). Il s'engage également à réduire les émissions nettes de CO₂ de l'aviation de 50 % d'ici 2050, par rapport aux niveaux de 2005. [11] Il dispose de son propre accord : CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation).

En faisant le postulat que le trafic aérien aura une croissance de 4% par an à partir de 2024 (moment où le trafic aura retrouvé son niveau de 2019), certains avancent que l'hypothèse de trafic doit être revue à la baisse pour respecter ces engagements.

**Forçage radiatif : la différence entre la puissance radiative reçue et la puissance radiative émise par un système climatique donné. Un forçage radiatif positif tend à réchauffer le système (plus d'énergie reçue qu'émise), alors qu'un forçage radiatif négatif va dans le sens d'un refroidissement (plus d'énergie perdue que reçue). – Source Wikipedia*

**Scénario RCP du GIEC : Les scénarios RCP sont quatre scénarios de référence de l'évolution du forçage radiatif sur la période 2006-2300. Leur sélection a été effectuée par les scientifiques sur la base de 300 scénarios publiés dans la littérature. – Sources ministère de la transition écologique*

II. L'aérien face à sa croissance

2.1 Revoir les hypothèses de trafic ?

En effet, malgré l'amélioration continue de l'efficacité énergétique des appareils, les émissions de CO₂ ont augmenté de 42% entre 2005 et 2019 du seul fait de la croissance du trafic aérien. L'aviation civile mondiale a émis en 2018 ~1,1 GtCO₂, soit ~2,56% des émissions mondiales de CO₂ [13] et est responsable de 3,5% du forçage radiatif* global mesuré en 2011. [12]

Rester sous la barre des +2°C impose de réduire significativement les émissions anthropiques de GES afin d'être compatible avec le scénario RCP 2.6 du GIEC* qui respecte au mieux les accords de Paris. [13]

Le dernier rapport du laboratoire d'idées *Shift Project* rédigé par le collectif *Supaero Decarbo* (étudiants actuels et alumni de Supaero) estime que les innovations technologiques (avion à hydrogène, renouvellement des flottes, carburants alternatifs) ne permettent pas d'atteindre les niveaux de croissance estimés du trafic en respectant les objectifs de l'Accord de Paris.

Au mieux, elles pourraient permettre une très légère progression du trafic mais pas de maintenir une croissance estimée à 4% par an à partir de 2024.

Les auteurs appellent à définir un budget carbone pour l'aviation jusqu'à 2050 à ne pas dépasser. Ce chiffrage permettra de définir des trajectoires et d'effectuer des arbitrages dans les choix à prendre. Pour tenir ce budget, il faudra dans le scénario considéré comme le plus réaliste, baisser le trafic aérien.

La baisse de trafic nécessaire est évaluée à 19% d'ici à 2050 au niveau mondial, ce qui entraînerait la baisse de la production d'avions de 55%, la disparition d'emplois conséquente et l'entrée du secteur dans un marasme économique.



II. L'aérien face à sa croissance

Face à ce défi de société qu'est le changement climatique, il est important de donner du sens à l'aviation et de la rendre durable. Pour l'industrie, la

réponse technologique doit permettre d'éviter la décroissance. On se trouve ici dans un débat entre progrès technologique et décroissance.

" Nous nous battons pour que le trafic continue à croître tout en respectant les objectifs fixés "

*Antoine BOUVIER, Head of Strategy, M&A, and Public Affairs at Airbus,
Paris Air Forum, Juin 2021*

2.2 Une proposition intenable au niveau international

Le transport aérien, international par nature, requiert un consensus de tous les États (à minima européens dans un premier temps) pour mettre en œuvre sa décarbonation. Il est fort probable qu'une idée de

réduction du trafic ne s'impose jamais au niveau international et serait catégoriquement réfutée par certaines puissances. Limiter la croissance du trafic par une action politique a donc peu de chances d'aboutir.



III. Les leviers de l'aviation

A. Les leviers politico-économiques



Vue d'artiste - Airbus ZEROe

Face à ce dilemme entre décroissance et progrès technologique, quelles mesures de marché permettront de financer l'innovation dans un secteur hautement concurrentiel et aux marges de revenus relativement faibles ? Nous verrons dans cette partie les leviers politiques, économiques et sociétaux qui donneront les moyens à l'aviation d'amplifier ses efforts en se fixant des objectifs ambitieux.

3.1 La ligne politique à tenir

Les futures politiques doivent soutenir les investissements de renouvellement de la flotte mondiale, le développement des biocarburants, les nouvelles technologies telles que la propulsion à hydrogène et un meilleur management du trafic aérien (SESAR, NextGen).

Veiller à ce que l'intensité carbone de l'aviation continue de baisser est une priorité absolue pour le secteur. En effet, la voie de réduction des émissions conforme à l'accord de Paris est susceptible de restreindre considérablement les opportunités et les volumes d'échange de droits d'émission intersectoriels.

3.2 Booster l'écosystème industriel des carburants alternatifs

Tout d'abord, les biocarburants SAF (Sustainable Aviation Fuels) sont nécessaires pour réduire les émissions de l'aviation à moyen et long terme et assurer sa durabilité. Ils ne rentrent pas en concurrence avec l'alimentation et sont produits à partir du recyclage de certains déchets ménagers, de résidus agricoles ou d'algues. Les SAF ainsi que les carburants de synthèse durables permettent des gains d'émission pouvant aller jusqu'à 80 % sur l'ensemble du cycle de vie par rapport au kérosène d'origine fossile (CO₂ et forçage radiatif – source IATA).

III. Les leviers de l'aviation

Les SAF ne représentent aujourd'hui que 0,1% de la consommation totale des carburéacteurs (2019). L'objectif est d'emmener cette utilisation à 50% en 2050. [14] Pour y arriver il est important de soutenir tout l'écosystème. La production des SAF est actuellement deux fois plus chère que celle des carburants classiques mais aussi que celle des autres biocarburants utilisés dans les autres modes de transport, ce qui ne les rend pas économiquement attractifs.

C'est un surcoût de taille qui se révèle d'autant plus délicat au vu de la situation financière actuelle des compagnies aériennes. De plus, pour éviter toute distorsion de la concurrence, une réponse mondiale sera requise.

Un soutien des autorités internationales est nécessaire pour aider ce marché à accélérer sa mise en route. La sécurisation et le développement d'un approvisionnement énergétique décarboné conséquent pourrait être l'occasion de partenariats et d'investissements stratégiques accompagnés d'une stabilité en terme de réglementation.

La définition d'un cadre politique stable sur le long terme devra renforcer la confiance des acteurs dans la production de SAF à plus grande échelle mais aussi garantir la disponibilité des matières premières.

3.3 Quelle répartition des approvisionnements énergétiques ?

Les différents secteurs du transport devront anticiper le développement des futures technologies de propulsion et réfléchir à la répartition des approvisionnements énergétiques. Avec la fin souhaitée de la commercialisation des voitures essence et diesel au profit des modes de propulsion hybride et électrique, la forte consommation d'électricité requise pour la production de carburants de synthèse (procédé Power to Liquid) risque de rajouter une pression supplémentaire sur les capacités électriques mondiales.

Quant à l'hydrogène et les biocarburants, des arbitrages entre secteurs devront être faits.

III. Les leviers de l'aviation

Il s'agira de privilégier les approvisionnements de ces nouvelles énergies pour les secteurs ayant le moins d'alternatives bas carbone.

3.4 Accélérer la certification

La certification est un processus au cycle très long s'étalant sur de nombreuses années entre l'innovation et la mise en service. Les agences devront se familiariser avec les enjeux techniques et technologiques des technologies de demain, en cartographiant les contraintes, et ce, en un temps record sur les domaines suivants :

Les biocarburants

L'enjeu des organismes certificateurs et des industriels sera de faire passer rapidement le seuil d'utilisation toléré dans les moteurs actuels de 50% de SAF à 100%. Des études sont en cours avec le projet français VOLCAN (VOL avec Carburants Alternatifs Nouveaux) pour les avions monocouloirs.

L'hydrogène

La technologie dihydrogène impose des contraintes fortes dans la mise en place de son écosystème associé : intégrer la supplychain

de l'hydrogène dans les opérations aéroportuaires mais également dans les avions demande des garanties fortes en terme de gestion de la sécurité. Le concept d'aile volante qui répond le mieux à cette technologie demandera de revoir les standards actuels de certification.

Les procédures opérationnelles

Parmi les enjeux opérationnels, la mise en œuvre du programme Européen SESAR (Single European Sky ATM Research) pour optimiser le contrôle aérien sera un enjeu majeur pour augmenter le trafic en réduisant les émissions.

3.5 Surveiller l'évolution des programmes

Mettre le secteur sur une trajectoire plus durable nécessitera que les normes d'efficacité technique et le programme CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International aviation) soient rendus plus ambitieux.

La vocation du programme CORSIA est de stabiliser les niveaux d'émission par compensation, et non de

III. Les leviers de l'aviation

les réduire. De nombreux analystes s'accordent à dire que l'objectif de CORSIA n'est pas aligné sur l'Accord de Paris, pour lequel la neutralité climatique (et non la croissance neutre en carbone d'une année donnée) doit être atteinte dès que possible dans la seconde moitié du siècle.

La Commission Européenne est la première à s'attaquer au sujet d'une taxe sur les carburant aéronautiques avec d'une part une proposition de taxation du kérosène et d'autre part un mandat obligatoire d'inclusion de SAF avec l'initiative "ReFuelEU aviation" dans le cadre de son plan "Fit to 55" qui vise à réduire les émissions nettes de GES de l'UE d'au moins 55% à l'horizon 2030. [15]

Cette initiative permettra notamment d'imposer une part minimum de mélange de SAF (ou carburant de synthèse e-fuel) avec le kérosène qui augmentera graduellement pour arriver à 63% en 2050.

Dans ce cadre, le système EU ETS (Emission Trading System) sera revu avec la suppression progressive des quotas d'émission gratuits attribués au secteur aérien pour les vols intra-européens. Cela permettra de passer à la mise aux enchères complète des quotas d'ici 2027 afin de créer un signal-prix plus fort pour stimuler la réduction des émissions. La Chine, quant à elle, a lancé le plus gros programme ETS mondial qui s'appliquera au transport aérien d'ici 3 à 5 ans, dans l'objectif d'atteindre une neutralité carbone en 2060. Un système ETS mondial pourrait voir le jour d'ici quelques années. [16]

Un alignement de l'UE sur le mécanisme CORSIA pourrait par ailleurs être réalisé pour les vols internationaux. Une politique de taxation du kérosène doit garantir la réduction de la pratique du *fuel tankering** (21% des compagnies européennes le pratiquaient en 2018 – Eurocontrol) qui répond à des aspects économiques pour les compagnies aériennes.

**Fuel tankering*: pour faire des économies, certaines compagnies aériennes n'hésitent pas à surcharger les réservoirs de leurs appareils pour éviter de faire le plein là où le carburant coûte le plus cher

III. Les leviers de l'aviation

Les décideurs politiques devront cependant veiller à ce que les taxes et les réglementations n'aient pas d'impacts inégaux sur la compétitivité des compagnies aériennes, sur le renouvellement de leurs flottes et surtout qu'elle permettent de maintenir le secteur aérien accessible à tous. *Qu'en est-il pour les constructeurs ?*

3.6 Faire de la recherche un secteur stratégique et attractif

Compte tenu des risques de pertes d'investissements pouvant résulter de changements radicaux dans la conception des avions, les gouvernements peuvent faciliter les retombées des connaissances en encourageant la recherche fondamentale dans les institutions publiques et en finançant des projets d'ingénierie privés innovants et à haut risque. Par exemple, un campus hydrogène ouvrira ses portes à Toulouse en 2024 et accueillera 150 chercheurs. [17]

Avec des coûts de dizaines de milliards d'euros et des cycles de développement

de plusieurs années, les industriels qui développent les technologies des avions de demain ont besoin d'être soutenus financièrement. Les subventions de développement remboursables offertes par les gouvernements européens sont un modèle pour promouvoir de nouveaux programmes de développement d'avions bas carbone. En France, le CORAC (Conseil pour la recherche aéronautique civile) développe un écosystème qui fait vivre l'innovation avec l'incubation de technologies à développement rapide à petite et grande échelle, grâce aux financements du plan "France Relance".

3.7 Une cryptomonnaie aérienne

Difficile d'aborder le monde de demain sans intégrer l'hypothèse d'une démocratisation des cryptomonnaies au sein de l'économie mondiale. Pour rappel, une cryptomonnaie, à l'exemple du Bitcoin, est une monnaie numérique internationale, exploitée via un réseau informatique

III. Les leviers de l'aviation

décentralisé et fonctionnant sans nécessité de banque centrale grâce au principe de *blockchain**.

Le phénomène prend de l'ampleur et la technologie est prise au sérieux par les États travaillant eux-mêmes sur leurs propres monnaies numériques (Euro, Yuan, Dollar américain) et par les acteurs institutionnels (banques, entreprises) qui investissent de plus en plus dans ces monnaies.

Dans le secteur aérien, l'IATA s'est penchée sur le sujet en 2016 avec le projet *IATA Coin* permettant aux acteurs aéronautiques de fonctionner autour d'une monnaie propre au secteur. Celle-ci permettrait par exemple aux avionneurs, équipementiers, compagnies, aéroports de réduire drastiquement les délais et frais de transaction, de supprimer les taux de change, tout en restant transparente et sécurisée. Peu de nouveautés ont été apportées au projet depuis, mais voir apparaître dans un futur proche, de tels initiatives au sein de cette industrie ne serait pas surprenant. [18]



**Blockchain*: base de données décentralisée, sécurisée et transparente contenant l'historique de tous les échanges effectués entre ses utilisateurs depuis sa création – Source [economie.gouv](http://economie.gouv.fr)



B. Les leviers technologiques

Vue d'artiste Drone taxi Volocity – Volocopter

L'aviation de demain verra l'émergence de nouvelles mobilités et connaîtra une rupture des codes actuels en termes d'architecture et de systèmes propulsifs. Les différents secteurs du transport devront anticiper le développement de ces technologies et réfléchir à la répartition des approvisionnements énergétiques. Enfin des leviers opérationnels et industriels permettront de répondre aux objectifs établis.

3.8 Architecture et systèmes propulsifs

Airbus est le premier avionneur à montrer la voie en présentant en 2020 sa feuille de route pour l'avion à hydrogène en proposant trois concepts : un turboréacteur, un turbopropulseur, et une aile volante.

Le constructeur se donne cinq ans pour faire la maturation des technologies. Une mise en programme prévue entre 2025 et 2027 et un lancement entre 2027 et 2028 pour une mise en service en 2035.

Safran a déjà lancé plusieurs programmes avec Airbus et Ariane Group sur l'étude des technologies de distribution et modes de propulsion de l'hydrogène

pour les futurs avions commerciaux via le projet HYPERION intégré dans le Plan de soutien à l'aéronautique en France. Une étude est également menée avec Airbus et l'ONERA sur l'impact des traînées de condensation spécifiques aux nouveaux carburants.

Le motoriste a présenté en juin 2021 son démonstrateur technologique *CFM RISE* qui sera développé en partenariat avec l'américain GE. Il permettra de prouver la viabilité d'un moteur totalement disruptif. Celui-ci pourra fonctionner à la fois avec 100% de carburants alternatifs et une consommation réduite de 20%

III. Les leviers de l'aviation

par rapport au moteur LEAP sorti en 2015 mais aussi avec de l'hydrogène. [19]

Le développement de la production d'hydrogène à échelle mondiale sera crucial pour la mise en service de ces avions.

Cela implique de modifier sa chaîne de valeur et de promouvoir la recherche sur des modes de production neutres en carbone, sur son stockage et son transport à grande échelle. Les avancées technologiques actuelles ne permettent pas un saut direct vers un *hydrogène "vert"** totalement décarboné avec une rentabilité économique acceptable. Une phase transitoire par un *hydrogène "bleu"* qui amoindrit l'impact environnemental tout en offrant la capacité économique de maturation technologique sera nécessaire. [20]

Il est possible qu'une percée scientifique, une innovation ou un évènement fasse basculer le futur de la propulsion aéronautique. La fusion nucléaire présentée en 2014 par Lockheed Martin pourrait être un exemple [21], ou les réactions nucléaires à basse énergie en utilisant de l'hydrogène (déposé par Airbus en 2017). [22]

En revanche, de considérables progrès technologiques sont nécessaires avant d'envisager le développement de telles solutions. Dans le domaine expérimental, des propulsions ioniques (par exemple les travaux du MIT) [23] et plasma (projet ACHEON français [24], ou de l'institut de technologie de Wuhan[25]) sont également étudiées pour des applications à plus long terme.

" L'hydrogène est une solution séduisante mais pas universelle "

Olivier ANDRIÈS, PDG Safran, Paris Air Forum, Juin 2021

*Hydrogène vert: dihydrogène produit à partir d'énergie renouvelable, par le processus d'électrolyse de l'eau

*Hydrogène bleu: obtenu lorsque le CO₂ émis est capté puis réutilisé ou stocké

3.9 Les prochains modes de transport

Les eVTOL (Electric Vertical Take-Off & Landing), premiers drones taxi à utilisation commerciale pourraient arriver en 2022 à Singapour, Dubai, en 2023 à Los Angeles, San Francisco et en 2024 à Paris. Le projet Volocity, développé par la start-up allemande Volocopter, est suivi de prêt par la DGAC, la RATP, le groupe ADP et l'EASA. Ces entités travaillent sur la certification et la mise en place de son exploitation pour les Jeux Olympiques de Paris en 2024. Des projets ambitieux tels que CityAirbus ou Uber Elevate peupleront le ciel des grandes villes dans les prochaines années. Demeure la question de l'acceptabilité auditive et visuelle dans l'environnement urbain.

On estime qu'il y aura 15 000 drones taxis en 2035 dans le monde. Le coût sera aussi attractif qu'un voyage en VTC et possédera un avantage lié au temps de trajet fixe, en survolant l'espace routier 2D. D'abord avec des "safety pilots" embarqués sur des lignes simples, les véhicules deviendront autonomes et

pourront naviguer par eux-mêmes avec une conscience de leur environnement. Dans un autre registre, le Concorde a laissé derrière lui une nostalgie du vol supersonique. Depuis, de nombreux entrepreneurs se sont alors lancés le défi de faire revivre ce secteur.

La start-up américaine Boom Supersonic récemment soutenue par United Airlines pour son projet Overture (XB-1), reste un des rares acteurs dans la course. En effet, Aerion Corporation qui développait depuis 2004 un jet supersonique, a brusquement annoncé l'arrêt de ses activités en mai 2021, malgré un carnet de commandes de 93 appareils.

Dans les études émergentes sur le transport supersonique, les modèles ont estimé la consommation de carburant à cinq à sept fois plus, par passager, par rapport aux avions subsoniques. Les vols supersoniques étant à contre-courant des impératifs écologiques de l'époque, il est peu probable que ce segment puisse redécoller un jour.

3.10 L'optimisation du trafic aérien

L'optimisation des procédures opérationnelles est un levier non-négligeable de réduction des pollutions sonores et environnementales du secteur. Elle passe par l'optimisation des phases de roulage dans les aéroports, ou encore l'optimisation des profils de vol.

Le programme SESAR (Single European Sky ATM Research) permettra de doter l'Europe d'un système de contrôle du trafic aérien plus flexible intelligent. Des systèmes tels que Initial-4D permettront aux appareils de planifier leurs vols et de suivre une trajectoire optimisée et efficace, sans qu'il soit nécessaire aux contrôleurs de communiquer des instructions de guidage.

L'optimisation des trajectoires de vol en fonction des paramètres météorologiques dans le cas par exemple des évitements d'orages permettra de réduire l'empreinte environnementale. Avec le projet PureFlyt (FMS - Flight Management System), Thales tend à réduire l'empreinte environnementale

des avions de 10% d'ici 2023. [26] La mise en place de protocoles CCO et CDO (Continuous Climb and Descent Operations) permettra aux aéronefs à l'arrivée ou au départ d'un aéroport, de descendre ou de monter en continu en appliquant des poussées et vitesses optimisées, dans la mesure du possible.

3.11 L'industrie 4.0

Aussi, l'avènement de la digitalisation dans l'industrie 4.0 permettra, grâce à l'intelligence artificielle, au Big Data et à des procédés de production innovants tels que la fabrication additive.

La partie conception tend de plus en plus à intégrer toutes les contraintes du cycle de vie du produit en prenant en compte l'éco-conception, l'efficacité énergétique ou encore la performance de maintenance au sein d'un seul système de données PLM évolué (par exemple Dassault 3DEXPERIENCE).

Les puissances de calcul progresseront de manière exponentielle et l'arrivée d'ordinateurs quantiques qui permettront d'optimiser et de réduire

III. Les leviers de l'aviation

certains temps de conception soumis aux capacités de calculs actuelles, par exemple dans le structurel ou l'aérodynamique. La fabrication additive permettra de concevoir des pièces plus légères avec moins de matières et évitant les pertes de matériau.

La définition du soutien des avions de demain intègrera de plus en plus la maintenance prédictive qui tirera profit du Big Data pour prédire les défaillances des systèmes. Les appareils de demain seront de plus en plus capables d'effectuer eux-mêmes leurs diagnostics de pannes. Le recours à l'impression 3D permettra d'imprimer à distance des pièces de rechange permettant ainsi d'annuler certaines durées logistiques.

3.12 Les émissions négatives applicables à l'aviation ?

Une solution pour atteindre la neutralité carbone du secteur aérien est la compensation carbone, voire la capacité d'absorber plus de

carbone qu'il n'en consomme. Les technologies de Capture et Séquestration du CO₂ (CCS - Carbon Capture & Storage) existent aujourd'hui au niveau industriel et ouvrent différentes possibilités dont les émissions négatives (NET – Negative Emission Technologies). La séquestration de CO₂ par la plantation d'arbres se fait progressivement sur plusieurs décennies. Elle devra alors être couplée avec le déploiement à grande échelle de la méthode de compensation instantanée CCS, essentielle dans le monde instable de demain.

Différents scénarios de transition énergétique utilisent les NETs pour les centrales fossiles et l'industrie dans des proportions importantes. Cette technologie a cependant des marges importantes d'amélioration notamment sur la capture du CO₂ qui est, aujourd'hui, très gourmande en énergie. [27] Des émissions négatives peuvent également être obtenues à partir de la production de dihydrogène et l'usage de Bio-CCS*. [28]

**Bio-CCS : le processus consistant à extraire la bioénergie de la biomasse et à capturer et stocker le carbone émis lors de cette transformation, le retirant ainsi de l'atmosphère. Si, plutôt qu'issu de gaz naturel, le méthane (CH₄) permettant de produire de l'hydrogène (H₂) provient de biomasse et que l'on applique la CCS, alors le bilan carbone devient négatif."*

III. Les leviers de l'aviation

Il serait envisageable pour les compagnies aériennes de proposer au passager, sur le modèle des compensations carbone par la reforestation, de contribuer à la décarbonation supérieure ou égale aux émissions de son vol par la CCS en investissant ses miles gagnés. A plus long terme, pour les industries, la CCS pourrait venir s'ajouter aux apports d'efficacité énergétique pour les avionneurs et sous-traitants pour supprimer les émissions grises à chaque étape du cycle de vie de l'avion.

Dans une approche pragmatique de réduction des émissions de CO₂, la première étape reste la recherche de l'efficacité énergétique sur toute la chaîne.



IV. Quelle vision pour la défense ?

L'ère du combat collaboratif verra le jour à l'horizon 2040, permettant l'interopérabilité entre des systèmes habités et autonomes sur terre, en mer, dans l'air et dans l'espace grâce à des programmes de coopération tels que le Système de Combat Aérien du Futur (SCAF). *Quelle place pour le vecteur aérien dans l'armée du futur ?* Les domaines du spatial et de l'intelligence artificielle occuperont un rôle primordial dans la défense de demain.

A. Le combat de demain

4.1 Le programme SCAF

La notion même de "guerre" a connu de profonds bouleversements qui exhortent les armées à redéfinir leurs attentes face à l'incertitude quant aux conditions des combats du futur.

Les domaines du cyber, du cognitif et de l'espace sont des menaces grandissantes dont la maîtrise sera cruciale. La réponse à celles-ci nécessite un changement de paradigme, en ne s'appuyant non-plus sur la supériorité d'éléments isolés mais sur un système ouvert combinant différents moyens travaillant en collaboration. Tel est l'objectif du SCAF, dont la conception actuelle doit anticiper les défis de l'ère 2040-2080.

Au sein du SCAF, s'inscrit le projet européen NGWS (Next Generation Weapon System) visant à

poursuivre le développement de la défense européenne, à renforcer sa souveraineté et à pérenniser son industrie de défense. Les grands piliers du NGWS sont menés par Dassault aviation (France), Airbus Defence & Space (Allemagne) et Indra (Espagne). [29]

Le système NGWS sera articulé entre autres par le NGF (New Generation Fighter) un avion de chasse de sixième génération polyvalent exploitant le potentiel de l'intelligence artificielle et des moyens de combat travaillant en réseau tels que des drones dits "remote carriers". Le tout étant interconnecté dans un "cloud" de combat et sera compatible avec les futures versions du Rafale et de l'Eurofighter, les avions de transport et le

drone MALE RPAS (Medium Altitude Long Endurance Remotely Piloted Aircraft System) en cours de développement. L'objectif est de créer un maillage de systèmes opérationnels militaires inédits combinant les technologies terre, mer, air et espace, tout en permettant une interopérabilité entre nations alliées afin d'opérer conjointement sur une mission. [30]

4.2 La place de l'innovation

L'innovation est un moyen de survie pour la défense d'une nation. Les forces ont besoin de matériels à la pointe de la technologie pour disposer d'un "temps d'avance" sur l'adversaire. Quelques technologies qui seront utilisées dans les systèmes de défense de demain seront par exemple :

La prédominance des drones de différentes tailles seront utilisés comme capteurs ou effecteurs. Ils agiront en formation autour d'un appareil habité ou en essaims (kamikazes, brouilleurs) en étant interconnectés (ou autonomes) au système de combat. Des drones solaires effectueront des missions de

IV. Quelle vision pour la défense ?

renseignement de très longue durée.

L'Intelligence Artificielle (IA), appliquée au SCAF, pourra fournir au pilote des options tactiques et une meilleure connaissance de l'environnement de combat. Elle pourra également permettre l'appui d'un "équipier fidèle" sans pilote capable de mener des opérations de combat, de défense ou de recueillir du renseignement. La question éthico-juridique des systèmes d'armes létaux autonomes devra être traitée.

Le domaine hypersonique concerne une vitesse de déplacement supérieure à 5 fois la vitesse du son (Mach 5) et présente un fort enjeu géopolitique. L'arrivée à maturité des technologies hypersoniques pourra changer la donne des appareils et missiles de croisière et faire évoluer les équilibres des forces. [31]

Les armes laser à haute énergie (HEL) étudiées actuellement pour la lutte anti-drone pourraient s'appliquer à plus grande échelle.

IV. Quelle vision pour la défense ?

4.3 La relation homme-machine

Le SCAF apportera la supériorité informationnelle permettant une prise d'ascendant sur l'adversaire pour agir plus efficacement avec une meilleure maîtrise des dégâts collatéraux. La question de la place de l'homme dans la boucle de décision reste primordiale.

L'initiative Man Machine Teaming (MMT) lancée par la Direction Générale de l'Armement (DGA), Thales et Dassault Aviation, a pour objectif de tirer profit des progrès de l'intelligence artificielle pour repenser le cockpit de l'avion du futur en un système aérien cognitif.

Ce concept de cockpit intelligent intégrerait des fonctionnalités telles que la synthèse vocale, la réalité augmentée, des représentations 3D de la situation ou la prédiction des intentions des équipages. [32]

4.4 Une hausse constante des coûts de l'armement

Depuis plusieurs décennies, le coût des armements augmente de façon croissante [33]. Développer un avion de combat coûte en effet aujourd'hui plus cher que par le passé, et plus encore, le développement d'un système de systèmes aérien comme le SCAF. Certains économistes tels que Jean de Bloch ou Gustave Molinari au début du XX^{ème} siècle estimaient que le coût de la guerre augmenterait tellement qu'on ne pourrait bientôt plus la faire et que l'on connaîtrait un jour un effondrement des modèles de défense. [33] Le coût total du programme SCAF est estimé entre 50 et 80 milliards d'euros [34] ce qui le met hors de portée d'un seul budget national en Europe et place la coopération et l'entente comme la clé de voûte d'un tel projet.



Vue d'artiste – Next Generation Fighter

IV. Quelle vision pour la défense ?

4.5 Décarbonation des armées : un enjeu de souveraineté

L'énergie est indispensable à toutes les activités des armées. La mise en place de stratégies énergétiques devra également être suivie de près pour allier enjeux énergétiques et efficacité opérationnelle.

Certaines actions proposées par la nouvelle stratégie énergétique de défense du ministère des Armées [34] présentée par Florence Parly en Septembre 2020 sont par exemple :

- Recours aux biocarburants pour les flottes militaires;
- Développement de la culture de sobriété énergétique et meilleure maîtrise des consommations;
- Augmentation des entraînements en simulation virtuelle en complément de l'activité réelle tout en garantissant le niveau de réalisme et de performance opérationnelle;
- Renforcement de l'efficacité énergétique des bases aériennes;

- Introduction des exigences d'écoconception et d'efficacité énergétique aux programmes d'armement sur l'ensemble de leur cycle de vie.

Il serait également envisageable d'intégrer les avions à propulsion électrique dans le cursus de formation initiale des pilotes.

B. La souveraineté spatiale

4.6 L'Espace, un point tournant pour la Défense

Les constellations spatiales joueront un rôle majeur dans l'environnement technologique des systèmes de combat du futur en fournissant une infrastructure de connectivité sécurisée permettant de posséder un " cloud " souverain.

Les technologies de cryptage quantique des communications s'avèreront indispensables pour la cybersécurité et la mise en œuvre des systèmes de combat de nouvelle génération. [35]

IV. Quelle vision pour la défense ?



La constellation européenne de satellites d'observation terrestre de prochaine génération COPERNICUS avec les missions SENTINEL permettront des observations océaniques, terrestres et atmosphériques. [36] Les satellites de demain pourront être reprogrammables en orbite, permettant de s'adapter à tout moment aux besoins à l'image du satellite commercial Quantum développé en partenariat avec l'ESA et Eutelsat. [37]

4.7 Le cargo spatial

Les lanceurs réutilisables à l'instar de la fusée Starship de la firme *SpaceX* prendront de l'ampleur et offriront un champ d'application pouvant intéresser certains acteurs.

L'US Air Force fait déjà savoir son intérêt pour une application militaire qui permettrait de transporter l'équivalent cargo d'un avion McDonnell Douglas C-17 (80 tonnes) entre tout point terrestre en moins d'une heure. Ces lanceurs pourraient permettre de transporter du matériel de soutien aux troupes ou des aides humanitaires d'urgence. [38]

Conclusion

À travers cette réflexion, nous avons décrit les piliers sur lesquels le secteur pourra s'appuyer afin d'assurer sa durabilité et tenir les engagements qu'il s'est fixé. La récente suspension momentanée des lignes aériennes nous a tous fait réfléchir et nous a appris à quel point le secteur aérien jouait un rôle important dans notre civilisation. La rapidité même à laquelle notre monde a changé avec l'arrivée de la pandémie peut pousser à l'optimisme, car les bascules se produisent dans les deux sens. L'aviation de demain sera plus résiliente, mais aussi plus flexible. Les acteurs mondiaux de premier plan doivent montrer le chemin et influencer le reste du monde.

" Soyons le SpaceX de l'aviation commerciale "

disait Guillaume FAURY (Président d'Airbus et du GIFAS) au Paris Air Forum 2021. Pour perdurer, les domaines du civil et de la défense devront s'adapter aux changements d'équilibres de demain. Il n'existe pas de solution miracle à la question environnementale et le choc écologique actuel peut s'inscrire dans la lignée des grands bouleversements qui nous poussent à repenser notre monde. L'aviation doit se réinventer pour regagner son image d'antan, la confiance du public et sa légitimité. C'est un exercice complexe de distinguer la variété des phénomènes susceptibles d'impacter le secteur de l'aviation dans le monde de demain. Personne n'est capable de prévoir ce qui se réalisera. Ce dont nous sommes sûrs, c'est que l'aviation a les moyens de répondre aux défis qui lui sont lancés. Et ce sont ces défis qui animent les rêves de ciel de milliers d'étudiants qui ont à cœur de les relever.



Vue d'artiste - Dassault Falcon 10X

Le monde de demain

- [1] Future of aviation Industry 2035 – IATA - 2018
- [2] 20 Year Forecast – IATA 2021-2039
- [3] Boeing Commercial Market Outlook 2020-2039 – Boeing 2020
- [4] « Extinctions, pénurie d'eau, exodes... L'alerte apocalyptique du GIEC sur le changement climatique » – Article de Libération sur le pré-rapport du GIEC 2022 – Juin 2021
- [5] Think Paper #10 – Flying the « perfect green Flight » - Eurocontrol – Avril 2021
- [6] Les carnets de la chaire Pégase - Voyages d'affaires et visioconférence : quel avenir pour le transport aérien ? – Juin 2021
- [7] Entretien Teams – Alexandre Perfetti – Salesmanager Privatefly Saint Albans – Juin 2021
- [8] GAMA – Business aviation Commitment on Climate Change : an update
- [9] Eviation revoit radicalement le dessin de l'Alice – Air & Cosmos – Juillet 2021
- [10] Aura Aero prépare un avion de transport régional électrique – Avril 2021

L'aviation face à sa croissance

- [11] IATA - Working Towards Ambitious Targets – Site internet
- [12] Pouvoir voler en 2050 Quelle aviation dans un monde contraint ? – The Shift Project -Mars 2020
- [13] The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018, par Lee et al., Atmospheric Environment, 2020, 117834, ISSN 1352-2310,

Leviers politico-économiques

- [14] Tax is not the Answer to Aviation Sustainability – IATA site internet
- [15] Carburants durables pour l'aviation – ReFuelEU aviation – Commission européenne
- [16] China Set to Launch the World's Largest Emissions-Trading Program – Wall Street Journal – Juillet 2021
- [17] Un technocampus de l'hydrogène implanté en 2024 à Francazal – AD'OCC
- [18] IATA Coin: A blockchain play by and for the airline world – PAXEX.AERO – Décembre 2018

Leviers technologiques

- [19] GE Aviation et Safran lancent un programme de développement technologique innovant pour des moteurs durables et prolongent leur partenariat CFM jusqu'en 2050
- [20] La course à l'hydrogène décarboné : une nouvelle compétition énergétique globale – Fondation pour la recherche stratégique – Juillet 2020
- [21] Brevet Lockheed Martin Corp – US20180047462A1 - 2014
- [22] Brevet Airbus Defence and Space EP3047488B1 - 2017
- [23] L'incroyable prototype d'avion à propulsion ionique du MIT a fait son premier vol – Sciences & Avenir – 2018
- [24] Aerial Coanda High Efficiency Orienting-jet Nozzle (ACHEON) – Commission Européenne
- [25] Jet propulsion by microwave air plasma in the atmosphere – 2020
- [26] Thales: how technology can deliver short-term reductions in global CO2 emissions – Juillet 2021
- [27] IEA – Carbon capture, utilisation and storage – site web
- [28] Role of Carbon Capture, Storage, and Utilization to Enable a Net-Zero-CO2-Emissions aviation Sector - Viola Becattini, Paolo Gabrielli, and Marco Mazzotti - 2021

Le SCAF

- [29]. Le Système de combat aérien du futur (SCAF) : Une politique de défense européenne qui avance. Jean-Pascal BRETON et Éva PORTIER - Les Cahiers de la Revue Défense Nationale- 2019
- [30] 2040, l'odyssée du SCAF - Le système de combat aérien du futur – Rapport Sénat-
- [31] Armes hypersoniques : quels enjeux pour les armées ? - Briefings de l'Ifri- juin 2021
- [32] Man Machine Teaming – site internet
- [33] Focus Stratégique n°42 - Toujours plus chers Complexité des armements et inflation des coûts militaires – Sophie Lefeez - Février 2013
- [34] Nouvelle stratégie énergétique de défense : consommer moins, mieux et sûr – Ministère des armées – Octobre 2020

La souveraineté spatiale

- [35] Constellations: quels enjeux pour l'Europe – Conférence - Paris Air Forum – Juin 2021
- [36] ESA – Sentinel Online – site web
- [37] L'Europe spatiale s'apprête à lancer Quantum, premier satellite "flexible" - Sciences et avenir – Juin 2021
- [38] U.S. Transportation Command considers next steps for potential space logistics - aerotechnews.com – Octobre 2020
- [39] Le futur de l'avion, les prochains défis de l'industrie aéronautique, Francis POLLET, Novembre 2020



Paul Le Roux de Bretagne

Curious, traveller and passionate about commercial aviation and airline strategy, Paul is currently studying Air Transport Operations Management at the French Civil Aviation University.

Paul has always dreamed of working in aviation and, with perseverance, he did not hesitate to change his study plans in order to reach his goal.

When he is not studying, Paul is a member of an international charity organization which led him to spend more than a year in Equator and El Salvador in very poor neighbourhoods to brighten up the life of the ones that suffer the most.



Sébastien Selle

After having started his aviation journey in Sénégal with the Private Pilot Licence, Sébastien currently realises his childhood dream everyday as a First Officer flying the Boeing 737.

Formerly a student at the French Civil Aviation University in the Airline Pilot course and the IATOM (International Air Transport Management) Master's Degree, Sébastien wants to be a part of those who help shape the future of aviation.

TROUVER SA PLACE DANS UN MONDE CONTRAIT ?

USAIRE STUDENT AWARDS 2021

WHAT AVIATION FOR TOMORROW'S WORLD?

Par Sébastien Selle et Paul Le Roux de Bretagne



INTRODUCTION

L'humanité a toujours rêvé de conquérir la troisième dimension et de prendre possession de l'espace qui la surplombe. Depuis plus d'un siècle, l'aviation est un secteur qui passionne et qui suscite des vocations dans le monde entier. Bien qu'étant à l'origine un rêve de quelques téméraires, l'aviation permet aujourd'hui de commercer, de nous rapprocher et de nous ouvrir au monde. En 1944, la Convention de Chicago est établie pour promouvoir la coopération et « créer et préserver entre les nations et les peuples du monde l'amitié et la compréhension ». L'aviation est indubitablement nécessaire aujourd'hui au bon fonctionnement de nos sociétés, qu'elle soit civile ou militaire.

Après la libéralisation du trafic et l'arrivée des gros porteurs comme le mythique B747, les prix ont chuté et l'avion est devenu un moyen de transport accessible à beaucoup d'entre nous. Plus récemment, l'avènement des compagnies low-cost et les bas prix du carburant ont continué de démocratiser ce mode de transport à l'échelle planétaire.

Cependant, l'aviation fait de nouveau face à un défi que l'on pourrait qualifier d'existentiel. Après avoir lutté de nombreuses années pour rendre ce moyen de transport toujours plus sûr, le secteur doit maintenant s'attaquer à un nouveau challenge : celui de se décarboner tout en intégrant les nouvelles mobilités. La crise du Covid 19 a fortement fragilisé le secteur aéronautique, des constructeurs jusqu'aux compagnies aériennes mais elle a aussi permis de lancer l'aéronautique dans la quête de son Graal : l'avion zéro carbone de demain.

Le secteur est coutumier des défis insurmontables aux premiers abords. Il a d'abord fallu rendre le transport aérien sûr, puis il a fallu le rendre économiquement viable et aujourd'hui, il faut le rendre responsable vis-à-vis de l'environnement. L'industrie aéronautique a toujours su faire la part belle à l'ingéniosité humaine pour sans cesse se réinventer et faire face aux défis à relever.

Ce livre blanc a pour but de présenter la vision de chaque acteur du secteur dans le monde contraint qui nous attend. Entre enjeux économiques, technologiques, politiques et climatiques, un consensus est difficile à trouver. Nous avons personnellement tenté d'apporter des amorces de solutions afin que l'aviation continue d'être un secteur attractif et d'exception dans le monde de demain.



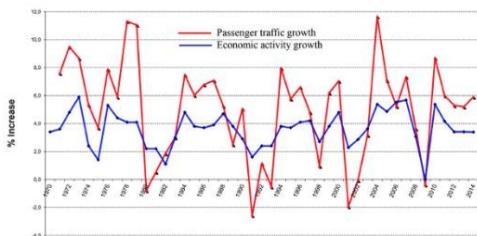
QUELLES CONTRAINTES FUTURES ?

La crise Covid rebat les cartes

Le 1er décembre 2019, le premier cas de Covid-19 a été détecté à Wuhan en Chine. Le monde aérien ne le savait pas encore mais il était à l'aube de la plus importante crise de son histoire.

Le secteur se portait pourtant à merveille durant la dernière décennie. Après avoir absorbé le choc de la crise des subprimes, le marché n'a cessé de croître en volume. Entre 2012 et 2019, selon l'IATA, le RPK a progressé de 77% et les compagnies aériennes étaient sur une série de résultats nets positifs. Les tendances encourageantes de la croissance du trafic et les prix bas du kérosène attiraient les investisseurs, satisfaits du pourcentage de retour sur les capitaux investis alors que le secteur est normalement peu profitable.

Cependant le secteur aérien reste très dépendant de la croissance économique mondiale et son taux de sensibilité par rapport au PIB est autour de deux. Bien que résilient, il n'est jamais à l'abri d'une crise mondiale qui viendrait bouleverser son activité comme ce fut le cas trois fois lors des trente dernières années



Source: ENAC Air transport data

L'année 2020 fut donc particulièrement rude. Toujours selon IATA, les pertes cumulées des quelques 290 compagnies aériennes internationales ont atteint 118,5 milliards de dollars en 2020. Le trafic de passagers internationaux a reculé de 75,6% par rapport à son niveau de 2018, les marchés européen et nord-américain étant les plus touchés.

Les conséquences économiques pour les majors furent terribles (8,9 milliards de dollars de perte annuelle pour American Airlines) alors que les low-costs bénéficiant de coûts fixes moins élevés et étant plus flexibles, ont réussi à limiter les pertes. Les grands États ont donc dû venir à la rescousse de leur(s) compagnie(s) nationale(s) pour les sauver : Air France a par exemple bénéficié d'une aide de 10B€ alors que son concurrent allemand Lufthansa a bénéficié de 9B€. De son côté, l'Australie a décidé de ne pas intervenir ce qui a entraîné la faillite de Virgin Australia, deuxième plus grosse compagnie nationale.

Cette crise mondiale a aussi engendré de nouvelles réflexions face aux mobilités. Les voyageurs d'affaires ont intégré la visioconférence à leurs habitudes de travail et le voyage d'affaires s'annonce plus rare, même s'il semblerait que rien ne remplace le contact réel. Bloqués dans leurs pays respectifs, les touristes eux, ont dû découvrir les bienfaits d'un voyage plus local.

La quadrature du cercle écologique

La pression environnementale s'accroît sur le secteur aérien qui est pris pour cible.

L'industrie aérienne participe effectivement au réchauffement climatique. Sa participation est estimée à 2% des émissions mondiales de CO₂. Celle-ci pourrait atteindre 25% d'ici 2050 si les autres industries réussissent mieux leur virage vers la décarbonation.

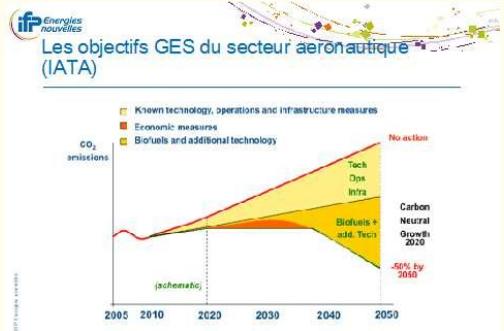
Il faut ajouter à cela d'autres effets accentuant le forçage radiatif :

- la production d'oxyde d'azotes (NOx) ;
- l'effet des traînées de condensation et des cirrus induits ;
- les émissions de vapeur d'eau ;
- les émissions d'aérosols, etc.

L'OACI a pourtant pris des mesures ambitieuses dès 2016 et a permis à l'aéronautique de devenir le premier secteur économique à se doter d'un dispositif mondial, universel et contraignant, de maîtrise de ses émissions de CO₂. D'ici 2050, les émissions mondiales de gaz à effet de serre devront être divisées par deux par rapport à leur niveau de 2016. Cette mesure est la contribution du secteur aux accords de Paris qui prévoit de limiter l'augmentation de la température mondiale en deçà de 2°C par rapport aux niveaux de l'ère préindustrielle.

Ces objectifs devront toutefois prendre en compte les prévisions qui prévoient une augmentation du trafic de 4% par an dans les vingt prochaines années ce qui rendra la tâche encore plus ardue.

Pour atteindre ces objectifs, tous les leviers devront être activés au-delà de ce qui est déjà fait : infrastructure, opérations, énergie et technologie.



Une avancée non uniforme à l'échelle mondiale

Alors que les pays nordiques comme la Norvège ou la Suède se distinguent comme étant les bons élèves dans la prise de conscience environnementale, les États-Unis et la Chine peinent à montrer une volonté politique inébranlable dans cette lutte.

C'est ainsi qu'en 2005 né en Europe l'ETS (Emission Trading Scheme) qui a pour but de créer un marché de quotas de CO₂ permettant les échanges de droit d'émissions que reçoivent les entreprises afin d'imposer une limite d'émission. Ce système doit s'appliquer à tous les vols au départ ou à l'arrivée de l'Europe. Cependant, face aux pressions de boycott des vols de la Chine, de l'Inde et des États-Unis, les vols internationaux ont été exemptés.

Pour contrôler les émissions des vols long-courrier, le système CORSIA a été adopté 2016 par l'OACI. Celui-ci a pour but de stabiliser les émissions nettes à partir de 2020 et met en place un système économique mondial qui exige que toute émission supérieure aux niveaux de 2020 soit compensée par des crédits carbone 48 vérifiés et de haute qualité.

Les écarts se creusent donc entre l'Europe et le reste du monde. Alors que la dernière décennie a vu la libéralisation du marché en Asie du Sud-Est, certains États européens reprennent le contrôle de leur marché comme la Suède qui a instauré une taxe qui oscille entre 5.8€ et 38.8€ par billet visant à limiter la croissance de son trafic.

De nouveaux arrivants

La dernière année fut également rude pour les avionneurs. Déjà déstabilisée par la crise de son 737 MAX, l'entreprise américaine n'a pas été épargnée par la crise sanitaire et ses pertes nettes en 2020 se sont élevées à 11,9B€. Par conséquent, Boeing, préférant concentrer ses forces sur le 777X, a (temporairement) abandonné son projet d'avion monocouloir long-courrier censé rivaliser avec le nouveau projet d'Airbus : l'A321 XLR. Du côté du géant européen, les pertes sont moins importantes mais s'élèvent néanmoins à 1.9B€.

Le monde aéronautique est donc à la veille de transformations profondes que toutes ces contraintes justifient.

Chaque acteur commence donc à préparer le futur et se construit un plan de vol à tenir. Cependant leurs visions du futur ne sont pas toujours en concordance.

Fragilisé lors des dernières années et mis sous pression par la nécessité d'une nouvelle conception, le duopole pourrait voir arriver des nouveaux concurrents qui comptent bien se faire une place parmi les géants. C'est le cas de l'entreprise chinoise COMAC avec son C919, et du conglomérat russe ROSTEC dont l'une des entreprises, Irkout, espère mettre son MC-21 en service sous peu.

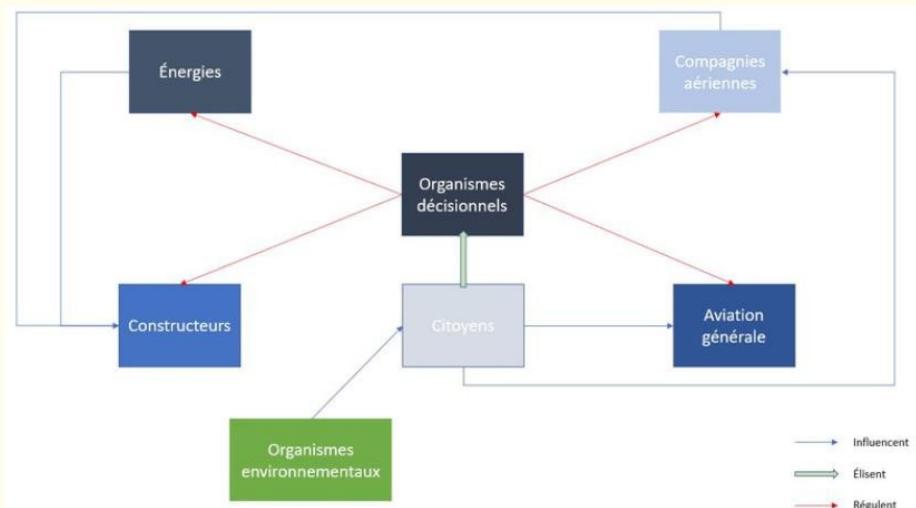
L'Aviation de demain verra aussi l'apparition de nouveaux types d'aéronefs.

Les marchés des drones-taxi et des drones de transport sont très prometteurs et les premiers modèles devraient apparaître en 2024.

Enfin d'autres projets sont aussi à l'étude comme le retour des avions supersoniques (par Boom Supersonic qui attise l'intérêt de United Airlines) ou des ballons dirigeables (étudiés par Hybrid Air Vehicles).

CARTOGRAPHIE DE CONTROVERSE

Le secteur aéronautique est la collaboration de différents acteurs qui interagissent entre eux dans le but principal de transporter des passagers ou des marchandises. Cette partie a pour but d'étudier la relation entre ces acteurs et de présenter d'une manière objective leurs visions du futur.



Les organismes décisionnels

Objectif : Assurer la transition écologique et technologique du secteur en accompagnant les différents acteurs tout en protégeant les intérêts économiques, sécuritaires et nationaux.

Il est important de rappeler que le secteur aérien participe à hauteur de 3,5% du PIB mondial avec pas moins de 60 millions d'emplois directs et indirects. C'est donc un secteur économiquement très sensible. Chaque décision doit donc être longuement étudiée pour évaluer son impact. L'OACI a adopté en 2016 une feuille de route très exigeante.

Comme souligné précédemment, à l'échelle mondiale, le manque de coordination est un des points faibles de l'aviation. Le système CORSIA fut difficile à mettre en place car l'Europe était plus favorable à un système de quotas carbone tout au contraire de l'Inde ou des États-Unis et l'OACI a dû l'adapter à l'effondrement du trafic en 2020. Chaque décision se confronte donc aux intérêts de chacun.

A l'avenir, l'OACI devra donc garder son rôle de régulateur mondial en conciliant les demandes des européens pour un plus grand contrôle des émissions avec les intérêts économiques des gros marchés comme celui de l'Amérique du Nord ou de la Chine.

Son rôle sera aussi d'encadrer les nouveaux arrivants. Déjà confrontée à l'arrivée massive des drones, l'OACI a lancé un appel en 2020 pour trouver des solutions novatrices pour la gestion de l'espace aérien de ces derniers.

Au niveau Européen les efforts d'harmonisation et d'unification seront poursuivis après la mise en place du projet SESAR et du ciel unique.

L'Union Européenne, grâce à son projet Green Deal (continent climatiquement neutre en 2050), continuera de financer des projets d'innovation de petites start-up et PME révolutionnaires comme VoltAero pour trouver une solution de rupture face aux défis sociétaux et environnementaux. Elle sera aussi chargée avec l'aide de l'EASA et en collaboration avec les constructeurs de faire évoluer ses réglementations pour permettre l'arrivée de ces nouveaux avions tout en continuant de faire passer la sécurité en premier.

Au niveau national, les gouvernements ont déjà joué un grand rôle en venant au secours des compagnies aériennes.

A l'avenir, ils devraient donc continuer à mettre en place des politiques cohérentes pour rendre le trafic aérien plus respectueux du climat. Notamment en aidant les compagnies aériennes lors de leurs renouvellements de flotte et en accompagnant les industriels. De façon analogue à ce que fait la France avec Total pour la production de SAF ou Air liquide pour la production d'hydrogène. Pour les plus petits pays, un soutien de la Banque Mondiale est attendu. La course aux nouvelles énergies est lancée !

Le secteur énergétique e

Objectif : Proposer une source d'énergie en adéquation avec les contraintes de l'aviation (très haute densité énergétique) à un prix compatible avec la structure de coûts d'une compagnie aérienne (marges très faibles).

L'Énergie est sans aucun doute le plus gros défi que l'aviation du futur devra relever. Faire voler un avion demande une quantité d'énergie supérieure à tous les autres transports. Le challenge est donc de réduire cette quantité d'énergie nécessaire, mais également et surtout, de minimiser l'impact environnemental de cette production d'énergie et de son utilisation.

Le premier levier qui semble être le plus réaliste à moyen terme est celui des Carburants Aériens Durables (CAD) ou Sustainable Aviation Fuels (SAF). Airbus et Boeing multiplient les partenariats en vue de son développement avec le consortium canadien SAF+ pour le géant européen et avec SkyNRG pour le géant américain.

Le parlement européen, dans son plan "Fit for 55" et à travers l'initiative « ReFuelEU Aviation », va imposer aux fournisseurs de carburant d'augmenter la part de SAF dans leur mix de carburants. 2% de SAF seront requis dès 2025 et ce chiffre montera à 63% en 2050.

Aujourd'hui, les SAF peuvent-être produits à l'aide de déchets (huiles de frites), de plantes (maïs) et à court-terme de bois. Il faudra cependant faire attention à ce qu'une grande quantité de terres arables ne soient utilisées pour la production.

À plus long terme et afin d'aider à réaliser l'objectif cité ci-dessus, il est également envisageable de fabriquer un équivalent au kérosène dans la catégorie e-fuel (carburants de synthèse). Ce type de SAF serait fabriqué à l'aide de CO2 capturé dans l'atmosphère et d'H2 vert. Cependant, sa production à l'échelle industrielle est difficilement envisageable avant 2040.

Les appareils en vente et largement diffusés dans les flottes sont déjà (ou seront bientôt) capables d'être alimentés à 100% par des SAF. Le problème à résoudre n'est donc pas de ce côté-là mais plus au niveau de la montée en capacité de l'offre.

À long terme, il faudra évaluer la pertinence du dihydrogène comme source de carburant viable pour l'aviation. De grands projets ont été lancés mais un point d'interrogation demeure sur la faisabilité d'une flotte conséquente d'appareils alimentés à l'hydrogène dans le monde.

Celui-ci pose trois principaux problèmes :

- La taille et le poids des réservoirs : même si son rapport énergie/masse est environ trois fois plus élevé que celui du kérosène, la densité très faible de l'hydrogène nécessitera des volumes quatre fois plus grands pour l'hydrogène liquide à -253°C , six fois plus grands pour l'hydrogène comprimé à 700bars, ce qui alourdira l'avion et entraînera une surconsommation.
- La complexité des systèmes de gestion des circuits d'alimentation des moteurs, de l'évaporation permanente d'hydrogène, d'étanchéité des circuits, qui devront respecter les normes de sécurité du transport aérien et sans doute de nouvelles normes qui restent à établir, beaucoup plus drastiques que celles de l'industrie spatiale conçues pour des vols de courte durée.
- La disponibilité d'infrastructures de production et de distribution sur les aéroports accueillant ces avions, respectant les normes de protection environnementales spécifiques et coexistant pendant le temps nécessaire avec les autres moyens d'avitaillement en kérosène et en carburants durables actuels ou à venir.

Si les nombreux défis techniques sont relevés, il est envisageable de voir voler des appareils alimentés à l'hydrogène mais uniquement pour des vols court-courrier.

La technologie des batteries évolue aussi rapidement ces dernières années, mais il n'est pas vraiment réaliste d'imaginer un appareil lourd alimenté par des batteries étant donné leur poids. Cela sera, dans un futur visible, une solution confinée aux appareils légers (loisir, apprentissage du pilotage, Urban Air Mobility).

Enfin, une solution pourrait être une forme hybridation. Les aéronefs sont généralement segmentés en termes de demandeurs d'énergie (propulsion, air comprimé, hydraulique, électricité, etc.) et une différente source d'énergie pour chacun de ces segments peut être envisageable. Il ne faut également pas oublier qu'un appareil nécessite sensiblement moins d'énergie pour soutenir le vol que dans la phase de décollage.

Les constructeurs

Objectif : Apporter une réponse technologique aux défis sociétaux et environnementaux.

Fragilisés par la pandémie et à la veille d'une révolution technologique, AIRBUS et BOEING ne seront peut-être plus les seuls à se partager le marché de l'avion de demain. Il est évident que le grand avionneur de demain sera le premier à mettre sur le marché un prototype quasi neutre en CO₂ permettant le transport de plus de 100 passagers. AIRBUS s'est fixé l'objectif de lancer ses premiers avions à hydrogène en 2035 alors que BOEING a promis un avion capable d'être propulsé uniquement aux SAF d'ici 2030.

Les deux géants ont donc un temps d'avance mais le constructeur européen, fort de la réussite de son A350 et de l'arrivée fracassante de l'A321 XLR semble avoir pris la tête.

Les avionneurs ne se limiteront pas qu'à un seul type de propulsion mais l'adapteront en fonction de la distance.

C'est ainsi que la propulsion électrique devrait être majoritaire dans l'aviation légère, la propulsion à l'hydrogène pour l'aviation régionale et enfin la propulsion hybride et/ou l'utilisation des SAF pour les avions long-courriers.

Alors que les premiers modèles d'avion électrique arrivent sur le marché et que l'adaptation des moteurs aux SAF devraient suivre rapidement puisque les moteurs sont déjà capables d'être propulsés à 50% par ces derniers, le futur avion à hydrogène va demander des changements structureaux importants. Le fuselage devra être revu pour permettre le stockage sous forme gazeuse ou liquide de l'élément chimique et l'avion devra être toujours plus léger grâce à l'utilisation des matériaux composites pour limiter sa consommation. AIRBUS a dévoilé l'année dernière ses trois grandes idées dont une totalement révolutionnaire, l'aile volante.

Airbus se laisse encore 4 ans pour réaliser la maturation des technologies qui seront nécessaires à l'avion hydrogène de demain avant d'entamer la mise en programme.

Du côté des motoristes, Safran et General Electric viennent d'annoncer le prolongement de leur collaboration jusqu'en 2050.

Ils ont également annoncé l'arrivée de leur nouveau modèle, le CFM Rise (*Revolutionary Innovation for Sustainable Engines*) qui aura la possibilité d'hybridation électrique, qui pourra utiliser 100% de SAF ou consommer directement de l'hydrogène. L'objectif pour Oliver Andriès, le directeur général de Safran est « d'être en situation de proposer les meilleures options possibles pour les moteurs quand les avionneurs seront prêts ».

L'accompagnement des États sera évidemment important pour chaque constructeur : développer un nouvel avion commercial coûte entre 10 et 25 milliards d'euros et en France, la DGAC avance une partie de l'argent à Airbus. Mais la question est de savoir quelle sera la forme de celui-ci pour ne pas créer de concurrence déloyale alors que l'Europe et les États-Unis viennent juste de se réconcilier.

Enfin Airbus continue de travailler sur son projet ATTOL (*Autonomous Taxi, Take-Off and Landing*), qui a pour but d'automatiser les phases les plus compliquées d'un vol grâce à l'intelligence artificielle. A moyen terme, les équipages pourront être diminués avant de laisser probablement place à l'intelligence artificielle. Cependant des doutes persistent encore sur la capacité d'un ordinateur à évaluer toutes les décisions et à choisir la plus appropriée. Deux cas sont particulièrement évocateurs : l'amerrissage de l'A320 dans l'Hudson en 2009 et l'atterrissage en urgence d'un A380 d'Air France au Canada en 2017

Dans ces deux situations, il a été démontré que les pilotes ont pris les décisions les plus appropriées alors qu'elles n'étaient pas les plus évidentes. Un ordinateur aurait donc-t-il été capable de faire atterrir ces deux avions ?

Le ciel sera donc dégagé pour le premier avionneur et motoriste à révolutionner le secteur tandis que les autres devront se partager les parts de marché restantes.

Les transporteurs aériens

Objectif d'une compagnie low-cost : Rendre le transport aérien accessible à tous.

La crise du Covid a particulièrement accru la domination des low-costs sur le marché européen. Cependant, aux Etats-Unis, une mauvaise gestion financière de Southwest avec le rachat d'actions (stock buybacks) ne lui a pas permis de profiter de la crise. Profitant d'une main d'œuvre bon marché, optimisant leurs taxes et avec peu de coûts fixes car ayant recours en majorité au leasing, ces compagnies ont quand même très bien absorbé le choc.

Les low-costs bénéficient de plus en ce moment même d'une très bonne reprise des trafics intérieurs : les niveaux d'avant crise ont presque été retrouvé aux États-Unis et sur une bonne partie du continent asiatique. En Europe, les compagnies incitent ses passagers à revoler le plus rapidement possible, Ryanair mettant même en place une offre « achetez-en un, obtenez-en un gratuit ». De plus, les modernisations de flottes par l'intégration du B737 MAX ou de l'A320 NEO devrait leur permettre de continuer à proposer des prix compétitifs et 2000 pilotes seront engagés en 2 ans dans la compagnie irlandaise, signe d'une bonne reprise de l'activité et d'une vision optimiste de l'avenir.

L'avenir s'annonce donc très bon pour les compagnies à bas prix qui comptent bien rendre l'avion toujours plus accessible et profiter de la croissance du trafic pour continuer à ouvrir de nouvelles routes et prendre des parts de marché. Bien qu'une taxe sur le kérosène vienne d'être votée par l'Union Européenne, ces compagnies ayant déjà un cost index proche de 0 (la quantité de carburant brûlé est minimisé) devraient moins être affectées. La seule interrogation qui subsiste sera de savoir si ces compagnies s'attaqueront au marché long-courrier et si elles ne subiront pas un jour, les conséquences des choix politiques au profit des compagnies traditionnelles.

Objectif d'une compagnie traditionnelle : Connecter le monde à l'aide d'une entreprise pérenne. Proposer des services de qualité pour faire rayonner son drapeau à l'internationale.

Les compagnies traditionnelles ont été fortement fragilisées par la crise à cause de l'effondrement du trafic long-courrier qui représente 50% de leur chiffre d'affaires. Les avions cargo sont ressortis des hangars puisque étant la seule source de revenu possible. C'est ainsi qu'American Airlines a effectué en 2020 son premier vol régulier uniquement de fret depuis 1984 lorsqu'elle a retiré le dernier de ses Boeing 747 cargos.

En seulement 2 mois, le nombre de vols de fret pour cette compagnie est passé de 0 à 1000. Rapidement, de nouvelles solutions pour remplir les compartiments à bagages et utiliser les sièges de manière optimale ont été imaginées pour rendre le trajet plus profitable et augmenter le load factor. Ce marché est cependant très restreint puisqu'il représente moins de 1% en volume des échanges dans le monde, la majorité étant captée par le trafic maritime.

La plus grande préoccupation des compagnies traditionnelles se portent donc sur le voyage d'affaire qui représentent 55 à 75% des profits. Alors que la pandémie a habitué les voyageurs d'affaires à utiliser les visio-conférences, des analyses prospectives annoncent une baisse de 40% des déplacements d'affaires à moyen-terme.

Ben Smith le directeur général du groupe Air France-KLM est quant à lui confiant et espère retrouver les niveaux d'avant crise en 2024 ou 2025. La stratégie de ces compagnies reposera donc dans les années futures sur la flexibilité : c'est cet atout qui permet d'absorber les crises.

- Flexibilité des flottes : 40 à 50% de la flotte mondiale est en leasing et ce chiffre devrait continuer d'augmenter afin de réduire les coûts fixes.
- Flexibilité des marchés pour ne pas dépendre que du long-courrier. L'avenir du groupe Air France-KLM devrait donc passer par Transavia, sa low-cost qui aurait pour objectif de faire tampon.
- Flexibilité des clients et des offres : Comme le rappelle toujours Ben Smith « plus d'un siège sur deux des cabines premium est occupé par un passager loisir » ce qui rend le groupe moins exposé que ses concurrents. A l'avenir les cabines ajustables se généraliseront pour offrir le meilleur équilibre possible entre l'offre et la demande.

Les legacy qui jouent aussi un rôle de porte-drapeau devraient continuer à recevoir le soutien des états sous forme de prêt ou de montée au capital pour les aider à se relever et pour accélérer leur processus de décarbonation.

La question cependant d'un marché de plus en plus restreint se pose car les états ne pourront venir en aide à toutes les compagnies et certaines seront plus avantagées que d'autres.

Ces compagnies aériennes espèrent donc pouvoir encore s'appuyer sur une croissance forte du trafic pour continuer de financer leurs investissements.

Objectif d'une compagnie privée : Faciliter le déplacement des voyageurs d'affaires.

Le marché du voyage d'affaire privé est le seul qui a continué de progresser en 2020 avec une croissance de 15 à 20%. Alors que la plupart des vols long-courrier ont été annulés, les entreprises et le top management se sont donc tournés vers l'aviation privée autant pour des raisons professionnelles que pour pratiquer le bleisure (contraction entre business qui signifie affaire et loisir qui signifie loisir) qui permet de profiter d'un voyage d'affaires pour faire du tourisme dans son pays de destination.

Ce secteur compte bien continuer de profiter de cet engouement pour croître et l'arrivée d'un avion décarboné pourrait attirer de nouveaux clients.



L'aviation légère et l'Urban Air Mobility

Objectif : Être un loisir accessible et un nouveau mode de transport

L'offre du secteur a relativement peu évolué depuis une soixantaine d'années. Les avions d'aéroclub continuent de voler avec des moteurs de conception ancienne, parfois datant de la seconde guerre mondiale, et cela pose des problèmes environnementaux conséquents. Les émissions sont, en proportion, quasi-négligeables, mais le bruit autour des aérodromes devient une contrainte plus ou moins bien acceptée en fonction des pays.

D'un point de vue technologique, nous avons vu que les batteries n'étaient, aujourd'hui, pas une solution viable pour les avions de grande capacité, mais pour l'aviation légère, il s'agit d'une possibilité. La technologie n'est pas encore adaptée aux vols de longue durée, mais étant donné que la majorité de l'activité des aéroclubs et des écoles de pilotage consiste en des vols de moins d'une heure trente, il existe dès aujourd'hui des appareils répondant au cahier des charges. Par exemple, l'École Nationale de l'Aviation Civile débute une expérimentation avec le Velis Electro de Pipistrel pour contribuer à la formation de base des pilotes de ligne.

Le secteur de la mobilité urbaine aérienne pour sa part est aujourd'hui très restreint mais pourrait avoir un avenir radieux si les défis techniques mais aussi psychologiques sont surmontés. Les drones taxi sont envisagés comme une solution pour désengorger les villes en complément des transports publics.

Les acteurs historiques (Airbus, Thalès, etc.) regardent d'un œil intéressé ce marché car il peut être un débouché économique conséquent et une source de diversification de leur portfolio de solutions. Cependant, ce secteur qui reste à créer devra tirer les leçons des limitations de l'hélicoptère : les nouveaux aéronefs devront être silencieux et peu coûteux.

Le taxi volant électrique de Volocopter est pour l'instant le modèle le plus avancée de sa génération. Il a prouvé son potentiel en effectuant un essai remarquablement silencieux lors du Paris Air Forum 2021. Des tests seront menés lors des Jeux Olympiques de 2024 et les premiers services point à point sont prévus à l'horizon 2030.

Du côté des régulateurs, les différentes autorités devront œuvrer pour insérer cette nouvelle révolution dans notre vie quotidienne. Il faudra créer de nouvelles réglementations dans lesquelles la sécurité restera la base fondamentale et construire l'UTM (Unmanned Traffic Management) en parallèle de l'ATM (Air Traffic Management).



Les organismes environnementaux

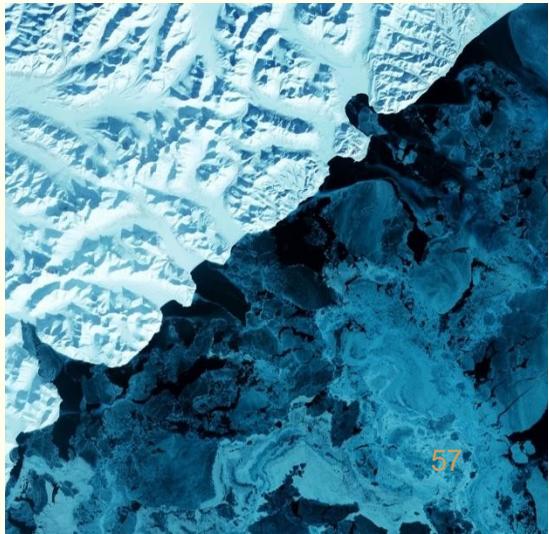
Objectif : Apporter une réponse sociale et politique au défi climatique.

Alors que les constructeurs et les opérateurs misent sur une réponse technologique pour respecter les objectifs de 2050, certains organismes environnementaux ne sont pas du même avis et veulent apporter une réponse plus radicale : limiter la croissance du trafic, voire initier une décroissance de celui-ci.

Ces défenseurs de la planète ne pensent pas que les avancées dont bénéficiera le secteur dans les prochaines années seront suffisantes pour respecter l'objectif des accords de Paris de contrôler le réchauffement des températures. C'est en substance ce que met en exergue un rapport publié par le Shift Project en mars 2021. Celui-ci étudie deux scénarios possibles ICEMAN (réaliste) et MAVERICK (très optimiste). La conclusion de leur étude est claire : « aucun des deux n'est compatible avec le budget carbone dans cette hypothèse d'une croissance de trafic de 4% par an ». Pour le think tank il faudrait donc abaisser le taux de croissance dès 2025 à 2,52% dans le scénario MAVERICK et - 0.8% dans le scénario ICEMAN. Le scénario réaliste mais néanmoins optimiste nous dit que seule une décroissance peut être la solution pour respecter les accords sur le climat.

Les mesures pour limiter le trafic pourraient être :

- Taxer les billets d'avion : c'est un projet qui sera débattu prochainement au parlement Européen à l'initiative de huit pays dont la France. Cette taxe déjà mise en place en Suède a eu pour effet de réduire le nombre de passagers de 5,6% sur les vols intérieurs en 2018.
 - Mettre fin aux subventions publiques dont bénéficie le secteur.
 - Mettre fin au transport aérien régional lorsque des alternatives ferroviaires existent.
 - Mettre en place des campagnes de communication pour inciter les citoyens à ne plus prendre l'avion en leur faisant prendre conscience de l'impact polluant de celui-ci.
- En conclusion, cet acteur voit le monde de demain avec une aviation très limitée en volume tant que celle-ci continuera à participer de façon non-négligeable au réchauffement climatique. Le secteur est pris pour cible et de nombreuses actions sont mises en place pour limiter son expansion.



Les citoyens

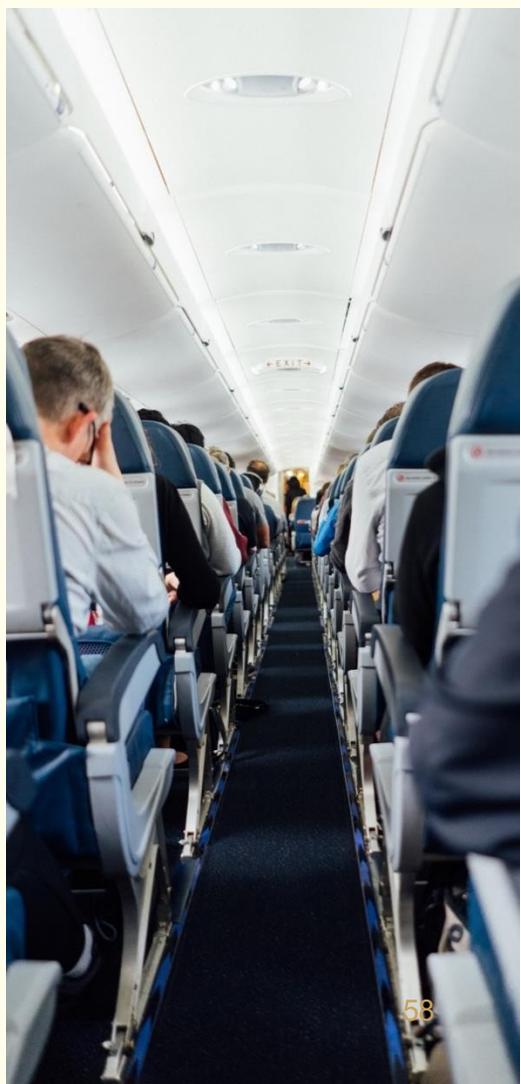
Objectif : Continuer à voyager sans déroger à certains principes

A court terme, la première préoccupation des voyageurs semble être la crise sanitaire : les grands rassemblements dans un aéroport ou un contact avec une personne contaminée dans un avion les préoccupent. Cependant ils étaient 72% à vouloir voyager pour voir leur famille et leurs amis dès que possible. C'est pour cela que le « pass sanitaire » est une solution qui serait globalement bien acceptée et qui permettrait de voyager en sécurité. C'est d'ailleurs ce que propose IATA avec son application "Travel Pass" qui permet un contrôle mondial des passagers. Les aéroports devront eux-aussi adapter leurs services en proposant par exemple un contrôle systématique de la température.

Pour continuer, le sujet de l'écologie revient encore au centre des préoccupations et les citoyens veulent faire peser leurs arguments comme le démontre en France la création de la "Convention Citoyenne pour le Climat". Les citoyens ont soif de voyage plus vert et 40% d'entre eux se déclarent prêt à payer plus cher pour voyager de manière éco-responsable. Il faut souligner aussi que le prix des billets d'avion a chuté de 40% en 30 ans ! Très influencé par les campagnes de communications écologiques, l'avis général des citoyens sur l'aviation se dégrade.

Enfin, les citoyens ne semblent pas effrayés par les nouveaux modes de transport du futur et par l'intégration progressive des technologies. 70% des Européens se disent prêts à monter dans une voiture volante alors que le même pourcentage de personnes se dit prêt à monter dans un avion autonome.

En résumé les citoyens rêvent toujours de voyages pour se rejoindre, pour découvrir le monde et faire du commerce, mais cela ne se fera que s'ils se sentent rassurés d'un point de vue sanitaire et non coupables d'un point de vue écologique.



L'AVIATION MILITAIRE

Une problématique différente

Objectif : Offrir une solution de défense aux pays alliés, à un coût acceptable et en préservant la souveraineté des États des fabricants.

L'aviation militaire est un secteur qui a des impératifs différents. Quand bien même l'environnement reste une préoccupation pour le secteur, les besoins opérationnels priment.

Néanmoins, en France, le fait que le Service des Essences des Armées ait récemment été renommé « Service de l'Énergie Opérationnelle » montre un changement de paradigme et une volonté d'intégrer des sources d'énergie alternatives dans le mix utilisé en opérations.

Des questions se posent également en termes d'éthique vis-à-vis des robots tueurs que deviendront les drones. Dans quelle mesure une machine pourra décider, en autonomie, d'une frappe ? Cette question reste en suspens.

Un autre timide pas effectué par les armées est le vol d'essai du Green Hornet. Il s'agit d'un F/A-18 qui a été alimenté par un mix de biocarburants en 2010.

Le challenge le plus important à relever pour le secteur de l'aviation militaire est de continuer sa transition vers des systèmes de combat toujours plus interconnectés.

Le SCAF Européen en est un exemple parfait. Doté de nombreux composants, il sera d'une haute complexité technique. Cela pose aussi le problème des dangers cyber auxquels le secteur devra faire face. En effet, les gains en efficacité d'un système interconnecté ouvrent la porte aux dangers cyber qui pourraient compromettre sa robustesse. Il reste à voir comment ce type de système de combat et son chasseur profondément interconnecté vont pouvoir être vendus à l'étranger.

Le passage à la prochaine génération de système de combat aéroporté, tout en préservant sa souveraineté dans un monde qui va potentiellement devenir plus instable, est un des plus gros défis à relever pour le secteur de l'aviation militaire.



NOS PROPOSITIONS

Les intérêts économiques ont été le fil directeur des gains en efficacité énergétique réalisés par le secteur depuis sa création. Le secteur étant globalement peu rentable, des incitations économiques fortes venant de la sphère politique sont attendues afin d'infléchir sa trajectoire vers un respect accru de l'environnement. Le monde dans lequel nous vivons étant fortement interconnecté, ces incitations ne pourront être efficaces et justes si elles sont à l'échelle locale. Une coalition mondiale devra être formée derrière cet objectif commun.

Les solutions technologiques feront partie de la solution mais elles devront être encouragées et ne suffiront vraisemblablement pas.

In fine, le secteur doit faire tous les efforts possibles pour être targué de "bon élève" au moment où des arbitrages politiques durs devront être faits vis-à-vis de l'environnement et du climat.

Voilà pourquoi nous proposons :

Proposition n° 1 :

Création d'un comité dirigé par l'OACI et composé des avis consultatifs du GIEC et de l'IATA qui aurait pour but de bâtir une évolution de l'Annexe 16 afin d'uniformiser les efforts à l'échelle mondiale pour respecter les objectifs de baisse des émissions du secteur. Dans ce comité, le GIEC devra fixer des objectifs climatiques et les adapter continuellement alors que des représentants de l'IATA devront apporter leur avis sur la faisabilité des projets pour les compagnies aériennes.

Proposition n° 2 :

Si les émissions en arrivent à devoir être contrôlées, nous proposons la mise en place d'une quantité maximale d'émissions de GES par citoyen pour l'ensemble des transports. Cette quantité serait fixée à la valeur moyenne par personne en 2030 et devrait baisser tous les ans en vue de respecter les accords de Paris. Cela n'empêchera pas le secteur de croître, en revanche, ses émissions devront être réduites d'un pourcentage fixe tous les ans, faute de consommateurs.

Proposition n° 3 :

Établir un classement des compagnies aériennes en fonction de leurs rejets de GES pour récompenser celles fournissant des efforts. Ce classement se fera sur un même trajet (ex : Paris-New York) et pourra utiliser le même système que l'outil TARMAAC déjà développé par la DGAC. Sur les 245 réponses d'un sondage que nous avons créé, la moitié provenant de personnes non issues du milieu de l'aéronautique, 73,5% seraient influencées par un tel classement lors du choix de leur compagnie.

Proposition n° 4 :

De fortes subventions étatiques pour initier une boucle vertueuse afin de créer une filière des Carburants Aériens Durables qui s'auto-entretiendra par la suite.

Proposer aux passagers de contribuer lors de l'achat du billet au soutien de l'entreprise dans l'augmentation la part des SAF dans le mix de carburants.

Proposition n° 5 :

Mise en place d'un groupe d'études européen sur les renouvellements de flotte afin d'accélérer l'arrivée des nouvelles technologies dans les compagnies.

Proposition n° 6 :

Que l'intermodalité devienne le standard et soit transparente pour les passagers (e.g. un service bagage unique entre les différents transports).

Proposition n° 7 :

Proposer une version « allégée » du SCAF destinée à l'export. Cela visera à protéger les secrets industriels européens et donc la souveraineté.

BIBLIOGRAPHIE

- Airbus Global Market Forecast 2019-2038
- IATA Annual Review 2020
- Quatrième rapport d'évaluation du GIEC
- Rapport du député Rolland Courteau à l'Assemblée nationale - Les perspectives d'évolution de l'aviation civile à l'horizon 2040
- Rapport Annuel Airbus 2020
- Rapport Annuel Boeing 2020
- Shift Project - Pouvoir voler en 2050 : quelle aviation dans un monde contraint ?
- Real Engineering - The uncertain future of jet fuel
- European Commission - An aviation strategy for Europe
- Paris Air Forum 2021 - Comment les compagnies aériennes peuvent-elles être rentables ?
- Autodesk.Inc - Reimagining the future of air travel
- Paris Air Forum 2021 : Quel tourisme pour demain ?
- Paris Air Forum 2021 : Sustainable Aerospace and the youth's aspirations
- Airbus - "Décarbonisation"
- Rapport CGEDD - CGAAER : Les biocarburants aéronautiques en France. Perspectives de développement de leur production et de leur usage à l'horizon 2020

REMERCIEMENTS

- Blandine MARCHAND
- Chantal ROUCOLLE
- Isabelle LAPLACE
- Agnès PLAGNEUX-BERTRAND
- Martin ROUANET
- Maxime POL
- Sonja SCHWEICKER
- Léa RENAULT



Arthur Nichanian

Born near Paris, I hold both French and German citizenships.

After s BSc. in Aeronautical Engineering at the ZHAW School of Engineering in Winterthur, Switzerland, and a MSc. in Flight Safety & Human Factors at Cranfield University (UK) completed in September 2021, I am now an airline pilot student at Horizon Flight Academy in Zurich, Switzerland.

I have always had a passion for aviation. After graduating from high school, I worked as a cabin crew member first for Swiss Intl. Airlines and later for Air France, which sparked my interest in flight safety and human-machine interactions. My goal is to work as an airline pilot together with a ground duty in flight safety.



Nicolas Bayen

Born near Paris, I completed a French-German education and hold high school diplomas of both countries.

I am now a final-year student at ESSEC Business School, which I entered after a Classe Préparatoire. While completing my Master in Management, I specialized in Law as well as Business Management in Asia and spent therefore a semester in Singapore. I formerly worked as an investment banking intern at the Bavarian State Bank and am currently a strategy business analyst intern at Hermès. I have always had an interest in aviation that I strengthened through a shadowing internship at Groupe ADP and various missions such as, among others, the study of travel retail performances for Hermès.

A large commercial airplane is parked on a tarmac. The aircraft is white with blue accents. Ground service equipment, including a white truck and a yellow truck, is visible around the plane. The background shows a clear sky and a runway.

What aviation for tomorrow's world?

*Qui survivra à la grande
extinction ?*

Qui prospérera ensuite ?

Usaire Student Award 2021

Nicolas Bayen

Arthur Nichanian

Introduction

Les années 2020 et 2021 se sont caractérisées par des hôpitaux pleins. D'abord en Asie, puis en Europe, en Amérique et en Afrique. Au rythme de la diffusion de l'épidémie de coronavirus et des vagues provoquées par ses variants, beaucoup d'avions se sont posés et certains n'ont plus jamais revolé. Des aéroports, vidés de leurs passagers et de leurs équipages, se sont mués en salle de réanimation pour avions où seuls certains professionnels de maintenance et de sécurité se déplaçaient pour ne pas laisser leurs patients se dégrader. Au même moment, les gouvernements qui ont décrété les restrictions de déplacement de leurs populations s'occupaient, pour la plupart, à placer sous perfusion les compagnies aériennes qui valaient la peine d'être sauvées, pour des raisons économiques, politiques, stratégiques ou culturelles. Sans celles-ci, les porte-drapeaux de l'aviation civile comme Air France, Lufthansa ou Singapore Airlines auraient disparu. Pour rappel, les compagnies aériennes ont subi en 2020 une perte de revenus de 60% [1] en comparaison avec l'année précédente, le premier semestre 2021 marque un léger rebond, sans être pour autant spectaculaire.

L'aviation est morte en 2020. Toute ? Non. Certains irréductibles ont résisté au passage du virus envahisseur. Et ils mènent la vie dure aux entreprises du secteur qui ont aujourd'hui du mal à se passer des aides d'État pour survivre. L'aviation cargo, le secteur militaire, l'aviation de loisir et d'affaires, les compagnies à bas-prix sont devenus le fer de lance du paysage aérien contemporain.

Quelle aviation pour le monde de demain ? Demain fait référence à un horizon proche, à un paradigme suivant celui d'aujourd'hui. Mais il est aussi tourné vers un horizon plus éloigné, et presque impossible à décrire. Les contraintes et les pressions actuelles vont en partie dessiner l'aviation de demain. Quel monde souhaitons-nous demain ? Quel monde émergera demain ? Que ce soit le changement de regard des opinions qui souhaitent un secteur plus vert, la volonté des pouvoirs publics, notamment des pays émergents, qui souhaitent le développement de ce secteur dans un souci de cohésion du territoire et de développement économique, de défense aussi avec le secteur militaire. Mais compétitivité et secteur plus vert sont dans ce cas souvent inconciliables, puisque rendre ce secteur plus propre induit des coûts importants que le client final n'est pas nécessairement en mesure de pouvoir supporter. Le mot le plus important du sujet est finalement la préposition "pour". Il ne s'agit pas de la place de l'aviation dans le monde de demain, mais au contraire, de la faculté d'adaptation du secteur pour être en phase avec le monde de demain. Sa capacité à agir pour, et non contre, et se transformer, afin de répondre à l'exigence d'un monde de demain plus vert, plus compétitif, plus hétéroclite, plus connecté et plus digital. Sans doute plus dangereux aussi. "Pour" peut finalement indiquer le but (la lutte pour le pouvoir), le bénéficiaire (travailler pour quelque chose), la circonstance, l'usage (une aviation pour demain), la destination, le point de vue, l'option ou la préférence (être pour). Autant de positions et de facettes qui traduisent les difficultés et aident à résoudre les défis du monde de demain.

Mais en 2021, les fissures du monde d'hier sont encore saillantes, les ruines pas encore toutes écroulées. Le monde de demain, quant-à-lui, se place en continuité avec celui d'hier. En effet, la pandémie a plus agi comme un catalyseur de mutations préexistantes que comme une véritable rupture. Dès lors, qui survivra au monde d'hier ? Qui prospérera ensuite ?

1 Un paysage aérien fissuré : les discours sur l'écologie et la compétitivité suffiront-ils à colmater les brèches pour le monde de demain ?

1.1 A bas les legacy, vive les low-costs !

Plusieurs tendances préexistantes ont été accélérées en 2020 et 2021 et seront incontournables dans un horizon proche et moyen (5 à 10 ans).

Le modèle low-cost, déjà majoritaire en classe économique sur le marché domestique américain, est très développé en Asie et en Europe. Il existe des compagnies aériennes qui lui sont entièrement dédiées et ce sont elles qui survivent le mieux à la crise du coronavirus à l'instar de Wizz Air qui en a profité pour se développer à Abu Dhabi, ou bien Ryanair en Europe (dont le cours de l'action a retrouvé sa valeur de 2019 [2]) ou encore Indigo en Inde qui a retrouvé 80% de son activité pré-pandémique [3]. Certaines compagnies ont même vu le jour pendant la crise comme Breeze Airways aux États-Unis (qui vise des lignes entre métropoles régionales avec pas ou peu de concurrence) ou Vietravel au Vietnam, ce qui prouve l'intérêt de ce modèle. De plus, l'essor des possibilités de travail à distance a poussé à la désertion des voyageurs d'affaires. Cette chute, estimée sur le long terme entre 24 et

28% par rapport à 2019 amène à des conséquences sur la segmentation des cabines, notamment pour les classes affaires [4].

Ces deux phénomènes, l'un préexistant à la crise, l'autre relativement nouveau, concourent à un changement substantiel dans le transport des voyageurs. La segmentation des cabines et donc la place laissée aux classes économie, premium économie, affaires et premières est amenée à évoluer. La moindre place des voyageurs d'affaires touchera les classes affaires (qui diminueront) et premières (qui disparaîtront presque entièrement). En contrepartie, la classe premium économie gagnera en importance puisqu'elle captera une partie de l'ancienne clientèle des voyageurs d'affaires. Aujourd'hui 14% de ceux-ci voyagent en premium économie ; ils seront 17% sur un horizon d'ici à 5 ans [4]. De même, la classe économie gagnera en part de marché et se transformera pour adopter un modèle entièrement low-cost afin d'être plus compétitive. Si c'est déjà le cas sur le marché domestique américain, ce n'est pas encore totalement le cas en Europe et en Asie. **L'aviation civile adaptée aux besoins du monde de demain, et ce à court, moyen et long terme est une aviation majoritairement low-cost.**

1.2 La montée en puissance du cargo

Un autre phénomène, mis en valeur par la crise, est la montée en puissance de l'aviation cargo. Cette évolution est aussi révélatrice des découplages géographiques entre Europe, Asie et Amérique à l'œuvre dans le transport cargo autant que passager. Le marché asiatique, et en particulier chinois, est celui qui possède la plus forte croissance des grandes économies, tandis que la croissance est plus modérée en Europe et en Amérique. **Dans le monde de demain, les compagnies cargo prendront de l'importance. En parallèle, les compagnies mixtes passager / cargo auront d'autant plus de difficultés à suivre que les futurs avions à hydrogène limiteront le volume de soute disponible.** De même, le secteur cargo, tout comme le trafic passager, est destiné à s'adapter au monde de demain. En ce sens, il n'échappera pas à la régionalisation des économies à l'œuvre dans le monde. D'où la menace pour les compagnies les plus puissantes du secteur d'être exclues du marché le plus porteur, le marché chinois, par la médiation d'obstacles réglementaires, administratifs et politiques, au profit des compagnies locales comme SF Airlines [5].

1.3 Qui financera l'aérien pour le monde de demain ?

Deux facteurs seront essentiels pour le monde de demain. S'adapter aux évolutions de la segmentation du marché et proposer un modèle plus compétitif, notamment sur les tarifs proposés aux clients finaux. De même, pour s'adapter et être en phase avec le monde de demain, le secteur doit se verdir. Et répondre ainsi aux injonctions des opinions publiques européennes, mises en exergue à travers le mouvement flygskam de 2018, et, dans une moindre mesure, asiatiques. En ce sens, les vols pour nulle part proposés en 2021 ont beaucoup été critiqués à Singapour [6].

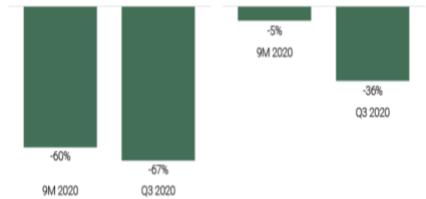
Cependant, les coûts nécessaires au verdissement du secteur sont considérables (changement de flotte, mise en place de carburants propres) et les seuls clients ne seraient pas en mesure de supporter ce surcoût, surtout pour le court et moyen-courrier pour lesquels ils pourraient se détourner vers d'autres modes de transport.

La question des financements est donc primordiale. Pour faire face aux exigences du monde de demain, il faut surmonter ses coûts. Mais la crise de 2020 et 2021 a placé les compagnies du secteur dans une situation difficile. Leur capacité à emprunter est remise en cause du fait de leurs ratings défavorables. Mais c'est aussi le cas des

constructeurs qui sont au centre de la recherche et du développement de l'avion de demain aux coûts de développement importants. Ainsi en octobre 2020, Fitch notait Boeing à BBB- (contre A- en janvier 2020) [7] et Airbus à BBB+ [8] pour le crédit long terme. De plus, les nouvelles exigences des banques en termes de compliance peuvent rendre le financement corporate plus difficile, ou du moins plus coûteux.

Toutefois, de nouveaux types de crédit ont été créés, comme le crédit à impact positif qu'a souscrit Jetblue auprès de BNP Paribas en février 2020 et qui conditionne les taux aux performances environnementales de la compagnie [9]. Reste à savoir si ce type de crédit va survivre dans un horizon proche. Mais il a de grandes chances de se développer dans un horizon lointain auprès d'entreprises soucieuses d'entretenir leur responsabilité sociale et environnementale. Le risque systémique est aussi important et la consolidation du tissu économique du secteur aérien est fondamentale afin de maintenir sa capacité d'action. Or les difficultés auxquelles font face les sous-traitants ou bien les loueurs (Figure 1) par ricochet peuvent faire craindre un risque de chute par domino. L'action et les aides des pouvoirs publics seront donc toujours d'actualité dans le monde de demain, au moins dans un

horizon proche, afin d'éviter des faillites en cascade. **Les prêts gouvernementaux, les garanties de prêts ou bien des impôts différés devront être reconduits pour permettre le financement de l'avion adapté au monde de demain.**



Note: 9M 2020 and Q3 2020 revenues for select airlines and lessors
Source: Cap IQ, company press releases, AirPartners analysis

Figure 1 : Déclin de revenu des compagnies aériennes (à gauche) et des loueurs (à droite)

1.4 L'aérien fait-il encore rêver ?

Enfin, la place culturelle de l'aviation dans le monde de demain représente un défi mondial. S'il est faux d'affirmer que l'aviation ne fait plus rêver, son aura et sa réputation se sont en revanche sérieusement érodées. Particulièrement en Europe. Comment soutenir le secteur aérien dans le monde de demain dans un continent où il est mal vu ? Les gouvernements ont volé au secours de leurs compagnies (avec contreparties). Y aura-t-il demain une volonté politique de sauver un secteur perçu par une partie importante de la population

comme polluant et socialement discriminant, malgré les emplois à la clé ? La question est taboue aujourd'hui, il y a de grandes chances qu'elle se pose demain.

Dans le monde d'hier l'aviation était inspirante et d'autres secteurs industriels utilisaient ses codes jusqu'au quotidien. Les affichages tête haute (Head-Up display) des voitures sont inspirés de l'aviation militaire, le secteur de l'horlogerie a beaucoup profité aussi de cette proximité dans leurs campagnes de communication à l'image de Cartier et de sa montre Santos Dumont.

Aujourd'hui le secteur aérien apparaît, et sans doute faussement, à la traîne. Ainsi une étude de la banque suisse UBS en 2020 estime que 20% des répondants ont renoncé à prendre l'avion pour des raisons environnementales [10].

Beaucoup de relais de communication des compagnies sont épuisés sur ce sujet. Quelle aviation pour le monde de demain ? Celle que l'opinion publique admirera et qui répondra à la feuille de route politique et économique des pouvoirs publics.

2 Refonte technologique et innovation commerciale sont les piliers du monde de demain : l'inéluctable métamorphose de l'aviation

2.1 Quelle métamorphose pour la conception aéronautique de demain ?

Grâce aux avancées technologiques de l'informatisation, des moteurs et de l'aérodynamisme, un avion actuel consomme 30% de carburant en moins qu'un avion des années 1990 [11]. Néanmoins, l'architecture d'un avion sous forme d'un fuselage avec des ailes n'a pas changé depuis les débuts de l'aviation avec le Wright Flyer. Cette architecture atteint désormais ses limites en termes d'optimisation de l'aérodynamisme.

Un avion contemporain reste un moyen de transport polluant et bruyant, à la fois pour les riverains et les passagers. Bien que l'aviation représente en 2019 environ 4% des émissions mondiales de CO₂, elle représentera 25% des émissions d'ici 2050 en tenant compte de la croissance à long terme du trafic si aucune mesure n'est prise [12]. Pour y remédier, des initiatives sont continuellement adoptées par les industriels pour réduire la consommation et diminuer les émissions sonores et de polluants. Un Airbus A320NEO émet ainsi 88 dB contre 101 dB pour un Boeing B727 datant de 1964 [13].

Quel carburant pour l'aviation du monde de demain ?

Le kérosène actuel (techniquement appelé Jet-A ou Jet-A1) est émetteur de gaz à effet de serre (tels que le CO₂, mais aussi les NO_x). Le carburant de demain doit être écologique, tant par sa production que par son utilisation. Il est donc nécessaire de le remplacer à court ou moyen terme par d'autres sources d'énergie afin de limiter les émissions de gaz à effet de serre liées à la croissance du trafic. Or, différentes contraintes s'appliquent pour les carburants aéronautiques, qui ne sont pas les mêmes pour le secteur militaire et le secteur civil. Les carburants civils dépendent de deux types de contraintes : physiques et opérationnelles. Les contraintes physiques sont inhérentes au fonctionnement optimal et en toute sécurité d'un moteur. Elles sont, pour un avion à réaction civil, un point de congélation minimum de -47°C, un point d'éclair minimum de 28°C et une densité énergétique minimale de 42.8 MJ/kg [14]. Les contraintes opérationnelles, au contraire ont un impact direct sur les compagnies aériennes et sont au nombre de deux : le coût d'un carburant ainsi que son indice écologique.

L'industrie aéronautique se penche depuis quelques années sur des carburants d'aviation durables (CADs), plus respectueux de

l'environnement du fait de leur production et de leur utilisation. Ceux-ci sont produits grâce au recyclage d'huiles usagées et de déchets et émettent également moins de dioxyde de soufre que des carburants traditionnels en raison de leur pureté. Leur utilisation est ainsi amenée à augmenter au niveau mondial. La prochaine étape pourrait être un vol entièrement effectué grâce aux CADs d'ici quelques années.

Néanmoins ces carburants restent onéreux à produire et leur production est limitée à l'heure actuelle par la capacité de recyclage et de transformation de déchets en carburant au niveau mondial. À titre d'exemple, une loi impose au minimum 0.5% de CADs sur tous les vols au départ de la Norvège depuis 2019. La compagnie aérienne SAS a annoncé que cette réglementation représente 3 millions d'euros de coûts supplémentaires par an [15]. À prix égal, l'utilisation de CADs à 100% représenterait alors un coût additionnel annuel de 600 millions d'euros pour la compagnie aérienne. D'autres mesures sont également prises par l'industrie aéronautique pour limiter les émissions tant dans le domaine de la propulsion que dans celui des opérations aériennes. L'architecture des moteurs contemporains consiste à absorber une plus grande quantité d'air à une vitesse plus faible, contrairement aux

What aviation for tomorrow's world?

moteurs plus anciens qui absorbaient une quantité d'air plus faible à une vitesse plus élevée. Cette optimisation du rapport de dérivation permet une consommation de carburant moindre ainsi qu'une réduction des émissions.

Bien que louables, ces initiatives ne sont pas suffisantes pour répondre aux demandes des opinions publiques qui paradoxalement demandent également des prix toujours plus bas et un confort accru.

Bien que celles-ci se développent en Europe et en Amérique du Nord, elles ne suffisent pas à limiter la hausse des émissions due à la croissance du trafic à moyen-terme en Asie. Et ce, même par temps de pandémie.

2.2 Quel intérêt pour les technologies de rupture de demain ?

Deux horizons peuvent donc être dégagés pour le développement de technologies de rupture.

La décennie 2030-2040 sera transitionnelle avec une implémentation graduée de l'intelligence artificielle, des drones civils et de l'hydrogène afin d'acquérir une maturité technologique avant leur introduction complète dans les années 2060 [16]. 2060 sera marquée par l'apparition de technologies

disruptives (ailes volantes, technologie hybride hydrogène-électrique).

Ces technologies limiteront ou même éventuellement annuleront l'impact environnemental de la croissance du secteur aérien.

L'hydrogène pour le monde de demain

À l'horizon 2035, certaines technologies, notamment l'hydrogène, vont être mises en place graduellement afin de démontrer leur utilité pour l'aviation de demain. En ce sens, des projets sont mis en place, notamment d'Airbus pour implémenter l'hydrogène pour l' Auxiliary Power Unit (APU – petit moteur intégré dans l'empennage afin de permettre une alimentation électrique et hydraulique lorsque les moteurs sont éteints [17]). Cela permettra de démontrer la fiabilité de ces technologies avant d'envisager l'exploitation d'avions entièrement à hydrogène. Avec le projet ZEROe, Airbus étudie ainsi différents concepts d'avion à hydrogène, et



Figure 2 : Airbus ZEROe

différentes technologies de propulsion et d'aérodynamisme [18].

Les avantages de l'hydrogène sont sa densité énergétique massique presque quatre fois plus importante (120 MJ/kg contre 43 MJ/kg pour le kérosène), son Energy Specific Fuel Consumption (ESFC) supérieure et la possibilité d'utiliser une partie des compétences déjà acquises par le secteur spatial [19]. Ses avantages par rapport au kérosène permettent à première vue une optimisation du poids de l'avion et donc une consommation diminuée.

Cependant, l'hydrogène ne représente pas une solution miracle aux enjeux actuels.

Son arrivée crée de nouvelles contraintes d'ingénierie, de production et de coûts. L'hydrogène devra être transporté et/ou stocké soit sous pression à 700 bars soit à -250°C ce qui nécessitera des matériaux spécifiques résistant à ces températures, donc plus lourds. Des pompes devront également assurer le maintien des faibles températures dans les réservoirs durant le vol ainsi que tenir compte du risque de « vapeur lock ». Ce phénomène,

engendré par une bulle de vapeur qui bloque le débit de carburant, peut représenter un problème dans des pays chauds.

La masse volumique onze fois inférieure de l'hydrogène par rapport au kérosène (71 kg/m³ à -250°C contre 800 kg/m³ pour le kérosène) amène les constructeurs à devoir redéfinir entièrement le design des avions. Le volume important qu'occupera l'hydrogène modifiera la taille des avions [19].

Avec les technologies actuelles, l'hydrogène ne peut pas être stocké dans les ailes contrairement au kérosène. Dès lors, deux possibilités : la première est de garder le design aérodynamique actuel et remplacer une partie de la cabine et des soutes avant et arrière par des réservoirs. Cela limitera la charge

utile (passager et cargo) et créera de nouvelles contraintes liées au centre de gravité de l'appareil à mesure que celui-ci consommera du carburant d'un réservoir. Une solution à ce problème pourrait être l'utilisation simultanée des réservoirs avant et arrière afin de maintenir un centre de gravité stable. Il reste à savoir si les passagers et les membres d'équipage accepteraient d'être installés entre

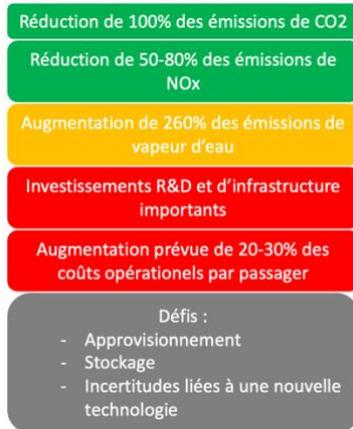


Figure 3 : Bénéfices et défis de l'hydrogène

deux réservoirs visibles d'hydrogène à bord.

La deuxième solution serait de combiner l'avion à hydrogène avec une autre technologie de rupture qu'est l'aile volante, ce qui aurait comme avantage de permettre des avancées significatives de l'aérodynamisme. En revanche, pour un emport égal, la taille des avions augmenterait significativement, ce qui créerait de nouvelles contraintes notamment pour les aéroports (taille des taxiways et des portes d'embarquement) [20]. De nouvelles contraintes de sécurité doivent également être étudiées, notamment le risque de fuite, L'hydrogène étant plus volatil que les hydrocarbures [20].

La production et la distribution de l'hydrogène sur les aéroports, domaine stratégique, devra être sécurisée, en particulier dans des pays en développement. Sa montée en puissance permettrait de diminuer les coûts de productions, actuellement relativement élevés (3-6€ / kg contre un prix de vente de 0.61€ / kg pour le JET-A1 [21]) Différents procédés de production existent actuellement mais aucun n'est intrinsèquement écologique, car ils émettent également des gaz à effet de serre. Il serait donc illusoire de présenter un avion à hydrogène comme étant écologique, si son carburant a été produit par une gazéification de charbon, par exemple. Si aujourd'hui

chaque avion était propulsé à l'hydrogène, les émissions totales de CO2 liées à la production de l'hydrogène seraient supérieures aux émissions de la flotte mondiale liées au kérosène [22].

La combustion de l'hydrogène, bien qu'elle n'émette pas de CO2, émet des particules d'eau (contrails) et des NOx, gaz à effet de serre à haute altitude [20]. Une première solution serait de réduire l'altitude de croisière d'environ 3000m afin d'éviter la formation de contrails. Mais cela augmenterait la consommation et les coûts opérationnels. La deuxième est d'utiliser la technologie des piles à combustible à hydrogène qui alimenteraient des moteurs électriques, donc zéro-émission.

A l'horizon 2030 émergeront également des avions électriques avec une autonomie de plus en plus considérable ainsi que des modifications d'avions à essence en électrique. En revanche, ceux-ci seront limités à l'aviation générale et militaire (drones) ainsi qu'à de petits avions régionaux de transport à l'image du Tecnam P-Volt, de 9 places.

Ces innovations technologiques sont nécessaires afin que le transport aérien aspire à une neutralité carbone d'ici 2050 tout en tenant compte de la croissance à long terme du trafic. De plus, la Chine a annoncé en septembre 2020 l'objectif d'atteindre

la neutralité carbone d'ici 2060. Cela engendre une pression plus importante pour les technologies de rupture, car les optimisations à l'horizon 2035 ne permettront pas une réduction d'environ 30% des émissions de carbone.

2.3 Quelle métamorphose pour les interactions homme-machine dans le monde de demain ?

Dans le monde de demain la robotisation et l'intelligence artificielle gagneront du terrain. Les nouvelles technologies proposeront des interfaces plus simples mais des processus plus complexes.

L'autonomie pour l'optimisation des flux de demain

L'intelligence artificielle, combinée aux innovations en matière de télécommunications (5G, 6G) va permettre d'opérer des véhicules autonomes en zone aéroportuaire et donc d'optimiser l'acheminement de marchandises à toute heure et par tout temps. Une implémentation graduée à l'horizon 2040 peut être envisagée tandis qu'il est raisonnable de prévoir des aéroports et des transports de marchandises complètement autonomes contrôlés par de l'IA d'ici 2060. Des tests ont déjà eu lieu, par exemple de chargement de bagages à Toulouse en 2019 [23]. Ces tracteurs et voitures autonomes devront être intégrés de

manière sûre sur les aéroports. L'objectif de la sécurité n'est pas d'éliminer tout risque potentiel, mais maintenir le niveau de risque à un niveau acceptable (tant en termes de risques que de coûts) pour la majorité des parties prenantes. Un problème majeur dans la définition de la sécurité en ce qui concerne l'autonomie est qu'en tant que technologie relativement nouvelle, elle a des conséquences potentiellement imprévisibles qui doivent être intégrées dans le système déjà développé, complexe et sûr qu'est l'aviation (par exemple, que faire lorsqu'un véhicule autonome ne suit pas sa trajectoire programmée et se dirige vers un taxiway et/ou une piste ?).

L'intelligence artificielle pour l'expérience passager de demain

La mise en place de la reconnaissance faciale et de l'intelligence artificielle dès l'horizon 2030 va redéfinir l'expérience passager ainsi que les flux de marchandises.

L'introduction de l'intelligence artificielle (IA) et de la reconnaissance faciale dans les terminaux va permettre une expérience plus fluide pour le passager, qui sera reconnu dès son entrée dans le terminal. Montrer son passeport, carte d'embarquement et certificat sanitaire, ne sera plus nécessaire. Ceux-ci seront à terme voués à disparaître sous leur forme

physique. L'intelligence artificielle permettra de réguler les flux et donc de diminuer l'attente ainsi que le nombre de personnel aéroportuaire requis. Les USA ainsi que la Chine sont pionniers dans ce domaine, avec des phases de test à Washington, Atlanta ainsi qu'à Beijing Daxing, tandis que l'Europe est plus en retrait notamment à cause de la frilosité des opinions publiques européennes par rapport à l'utilisation de ces données et à la protection de la vie privée. Il reste néanmoins des contraintes liées à l'imprédictibilité de l'intelligence artificielle qui est un frein pour sa certification dans le domaine aéroportuaire.

Responsabilité juridique

Aujourd'hui le conducteur ou commandant de bord est responsable de son véhicule / aéronef [24]. Avec les nouvelles interactions homme-machine, qui sera responsable dans le monde de demain ?

Il n'y a pas de disposition précisant la responsabilité pour des véhicules autonomes, ce point devra être abordé dans les futures réglementations.

Envisager la responsabilité en cas de dommages ou de préjudices causés par un véhicule autonome soulève des défis éthiques liés à la prise de décision d'un système autonome. Cependant, tout comme il est paradoxalement impossible d'identifier tous les scénarios possibles à l'avance, il est également difficile d'identifier une action appropriée à un risque.

3 Un horizon sur l'aviation de demain : le prisme de l'écologie et de la compétitivité permettent d'identifier quatre catégories d'acteurs avec quatre stratégies différentes

3.1 Compétitivité & défi écologique : le double challenge pour les compagnies et les constructeurs

Les compagnies aériennes européennes, ainsi que les constructeurs aéronautiques sont doublement touchés par le défi écologique et la pression sur les prix. Leur intérêt est donc de verdir leur business model tout en maintenant leurs niveaux de coût à un niveau équivalent à celui pré-COVID pour être en phase avec le monde de demain. Des mesures à court terme telles que des optimisations de consommation carburant grâce à l'intelligence artificielle permettent à la fois de diminuer les coûts et les émissions, mais à un pourcentage marginal (2-5%) [25]. De même le dispositif CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation – achat de crédits carbone), permet la compensation carbone sur les vols internationaux des compagnies

aériennes qui participent au programme. Au niveau opérationnel, des optimisations de trajectoires verticales comme une descente continue à la place de paliers, ainsi que le programme Free Route Airspace (FRA) qui consiste à permettre les trajectoires horizontales plus directes se mettent en place en Europe.

A long terme, l'introduction de technologies de rupture va se révéler coûteuse tant pour les compagnies, que pour les constructeurs, que pour les aéroports. Le processus de certification sera plus long car ces nouvelles technologies ne sont pas éprouvées. De plus, une nouvelle chaîne d'approvisionnement devra être mise en place pour les nouveaux carburants, que ce soit des CADs, de l'hydrogène ou de l'électrique. La flexibilité des utilisateurs de nouvelles technologies sera réduite du fait de leur manque de disponibilité à l'échelle mondiale initialement. **Néanmoins, si ces acteurs tiennent leurs promesses en termes d'écologie, cela leur permettrait de recréer du rêve à partir de ces nouvelles technologies de sorte que l'aérien devienne de nouveau populaire et admiré.**

3.2 Le défi écologique des nouveaux modes de transport

Les sociétés aéroportuaires, l'aviation générale en Europe et les nouveaux acteurs de l'aérien (startups) seront principalement touchés par la pression sociétale liée aux émissions ainsi qu'au bruit.

Les préoccupations des riverains aéroportuaires liées au bruit sont amenées à s'intensifier avec la croissance du trafic à long terme et ne sera pas résolue par l'avion à hydrogène. Il est donc nécessaire que l'aérien réponde à ces préoccupations pour le monde de demain.

De plus, la création de couloirs aériens à basse altitude spécifiques pour les drones de transport de marchandises mais aussi de personnes (comme le Volocopter de deux places) devrait aggraver le problème des nuisances sonores et visuelles.

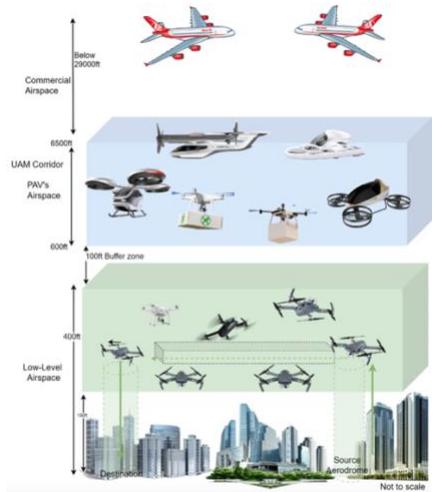


Figure 4 : La nouvelle segmentation de l'espace aérien [26]

Il paraît improbable que des milliers de personnes soient gênées auditivement et visuellement par des drones survolant leur habitation pour le bénéfice d'un nombre limité de voyageurs (entre deux et quatre passagers par drone). En outre, un cadre juridique se doit d'être défini pour l'aviation de demain en cas d'accident d'un drone au-dessus d'une zone habitée.

3.3 Un Boom de compétitivité

En Inde, en Asie de l'Est et en Afrique, l'émergence d'une classe moyenne entraîne un développement fort des marchés intérieurs (notamment indiens et chinois) ainsi que des vols moyen-courrier

internationaux. Une croissance des compagnies aériennes low-cost (par exemple Indigo, et Air Asia) préfigure le monde de demain. La croissance du fret aérien avec une concurrence accrue entre acteurs, notamment en Asie amènera à une pression sur les prix. L'émergence de startups de livraison par drone concurrencera les services de livraison plus traditionnels dans les grandes villes. L'utilité des drones peut aussi être humanitaire, à l'exemple de Zipline au Rwanda qui propose la livraison de médicaments à des dispensaires difficiles d'accès par la route.

L'expérience passager elle-même est réinventée. Par exemple la startup SKYdeals offre la possibilité d'achats duty-free en ligne en vol et leur retrait à l'aéroport d'arrivée.

Le développement de nouveaux avions supersoniques peut surprendre, et amener des questions sur le rôle d'un tel avion dans le futur. Prenons un exemple : Boom Aircraft est un projet d'avion supersonique d'environ 50 places, prévu pour voler à mach 1.7 et dont la certification est annoncée pour 2029.



Figure 5 : Prototype de Boom Technology

United Airlines a commandé 15 avions et placé une option pour 35 avions supplémentaires en juin dernier, pour un montant de trois milliards de dollars [27]. Ces avions se placeraient sur un marché de niche pour des liaisons rapides entre grandes villes (comme Londres - New York). Il reste néanmoins onéreux à développer, du fait des avancées technologiques nécessaires, et consommerait plus de carburant qu'un avion subsonique.

3.4 Secteur militaire : l'affirmation des carnivores dans le monde de demain

Le secteur militaire est soumis à des pressions de compétitivité et de transition écologique d'une intensité moindre. La compétition dans le domaine militaire se situe principalement au niveau de l'innovation tactique afin de garder un avantage sur un potentiel ennemi. Pour les grandes puissances (USA,

Chine, Russie, France, Royaume-Uni, Israël) ainsi que les puissances émergentes (Inde, Turquie), l'objectif est également d'assurer leur autonomie stratégique afin de ne pas ou peu dépendre d'une autre puissance en cas de conflit.

La montée en puissance militaire de la Chine est amenée à remettre en cause l'hégémonie technologique américaine. L'approche qui consiste à investir et développer conjointement des technologies civiles et militaires, notamment dans le domaine de l'intelligence artificielle est une stratégie clé dans la montée en puissance chinoise à l'horizon 2050 (par exemple le développement de drones de combat entièrement autonomes).

L'arrivée de nouveaux types de guerres hybrides au début des années 2010 a marqué un tournant. L'utilisation intensifiée de cyberattaques doit amener à repenser la sécurisation et la dépendance de données à la fois sensibles et non-sensibles qui peuvent être utilisés par des alliés comme par des pays hostiles. Par exemple, le Lockheed-Martin F-35 américain prévoit un lien en temps réel entre l'avion et le sol, ce qui permet une mise en place accélérée des opérations de

maintenance ainsi que des informations sur les situations de combat. De premiers tests de ce système ont démontré une grande vulnérabilité aux cyberattaques. De plus, le F-35 communique des données à Lockheed-Martin qui peut également effectuer des mises à jour à distance. La question se pose donc des garanties du constructeur ou même du gouvernement américain de ne pas utiliser cet avion comme moyen de pression en cas de désaccord diplomatique, par exemple en limitant à distance les capacités opérationnelles de l'avion [28].



Figure 6 : Ravitaillement par drone © Boeing

Dans le monde de demain, l'autonomisation des guerres à travers l'utilisation accrue de drones possédant à terme une intelligence artificielle (comme en Libye et en Arménie en 2020) doit amener les pays à repenser

l'éthique de guerre et la place de ces drones au sein de leur armée.

A terme ces drones pourront être intégrés à l'interface d'avions de chasse afin de servir de moyen de reconnaissance et/ou de ravitaillement à proximité d'une zone de combat. L'utilisation de drones offensifs complètement autonomes va ainsi s'intensifier. Ces drones autonomes intègrent un algorithme qui leur permet, grâce à de la reconnaissance visuelle, de détecter des cibles, de tirer et donc potentiellement de tuer. Une armée d'un pays démocratique, adepte des droits humains peut-elle déléguer le pouvoir de tuer à une machine ? Quelles conséquences en cas d'erreur

d'identification ? Des réponses devront être apportées dans les années à venir d'autant plus qu'aucune régulation n'existe actuellement.

Conclusion

L'aviation est morte, vive l'aviation ? Non. L'aviation pour le monde de demain est tributaire de la capacité de l'aviation contemporaine à évoluer, se financer et regagner du crédit auprès de la société. Si le développement de l'avion de demain, des carburants de demain, des technologies civiles et militaires sont autant de pistes pour s'adapter au monde de demain et à ses besoins, la fragilité actuelle du secteur rend le défi encore plus difficile. Néanmoins, deux facteurs seront dominant dans les modes de consommation : la compétitivité-prix et l'impact environnemental. La ligne de crête entre les deux est étroite. Et les différents acteurs du secteur doivent composer leur future partition à partir de ces facteurs. En revanche, la nécessité de trouver des technologies de rupture est posée, afin que l'avion de demain, tout comme son usage, soient bien adaptés au monde de demain et nous refasse collectivement rêver.

4 Références

- [1] J. Bouwer, S. Saxon, and N. Wittkamp, "Five profound shifts in the post-pandemic aviation sector," 2021. Accessed: Apr. 11, 2021. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/back-to-the-future-airline-sector-poised-for-change-post-covid-19>.
- [2] "RYANAIR HLDGS Cours Action RYA, Cotation Bourse LSE - Boursorama." <https://www.boursorama.com/cours/1uRYA.L/> (accessed Jul. 18, 2021).
- [3] A. Shah and J. Freed, "IndiGo tightens grip in India and targets growth abroad | Reuters," *Reuters*, Jan. 21, 2021. <https://www.reuters.com/article/interglobe-strategy-focus-idUSKBN29P2WH> (accessed Jul. 18, 2021).
- [4] A. Böhm and D. Nufer, "The effect of the COVID-19 pandemic on the future of business travel after the crisis," 2021.
- [5] "SF Airlines maps out ongoing and future growth plans - Payload Asia," *Payload Asia*, Jun. 28, 2021. <https://www.payloadasia.com/carriers/sf-airlines-maps-out-ongoing-and-future-growth-plans/> (accessed Jul. 18, 2021).
- [6] C. Tan, "Flights to nowhere: Environmental groups concerned about carbon emissions after SIA's reported plans - The Straits Times," *Straits Times*, Sep. 15, 2020. <https://www.straitstimes.com/singapore/environment/environmental-groups-concerned-about-carbon-emissions-associated-with-flights> (accessed Jul. 18, 2021).
- [7] "The Boeing Company Credit Ratings :: Fitch Ratings," *Fitch Ratings*. <https://www.fitchratings.com/entity/the-boeing-company-80090948> (accessed Jul. 18, 2021).
- [8] "Fitch Downgrades Airbus to 'BBB+'; Outlook Negative," *Fitch Ratings*, Nov. 04, 2020. <https://www.fitchratings.com/research/corporate-finance/fitch-downgrades-airbus-to-bbb-outlook-negative-04-11-2020> (accessed Jul. 18, 2021).
- [9] AFP, "La compagnie aérienne JetBlue s'engage dans la finance verte avec BNP Paribas," *Le Figaro*, Feb. 24, 2020. <https://www.lefigaro.fr/flash-eco/la-compagnie-aerienne-jetblue-s-engage-dans-la-finance-verte-avec-bnp-paribas-20200224?web=1&wdLOR=cE26C333B-B8E1-FB49-B4CE-CDF469617A5D> (accessed Jul. 18, 2021).
- [10] C. Chaigneau, "Flygskam : l'écart entre réalité et perception," *La Tribune*, Feb. 11, 2020. <https://objectif-languedoc->

- roussillon.latribune.fr/economie/2020-02-11/pollution-par-l-avion-une-etude-pointe-l-ecart-entre-realite-et-perception-839465.html (accessed Jul. 18, 2021).
- [11] Finnair, “Environmental Report,” 2006.
- [12] G. G. Fleming and I. de Lepinay, “Environmental Trends in Aviation to 2050,” 2019.
- [13] Sydney Airport, “Noise Management Masterplan 2033.”
- [14] IATA, “Aviation Fuel Quality Requirements for Jointly Operated Systems,” 2019.
- [15] L. Karagiannopoulos, “Airlines get ready for jet biofuel take-off in Norway,” *Reuters*, Nov. 21, 2019.
- [16] IATA, “Aircraft Technology Roadmap to 2050,” 2018.
- [17] J. A. Stockford, C. Lawson, and Z. Liu, “Benefit and performance impact analysis of using hydrogen fuel cell powered e-Taxi system on A320 class airliner,” *Aeronautical Journal*, vol. 123, no. 1261, pp. 378–397, Mar. 2019, doi: 10.1017/aer.2018.156.
- [18] “ZEROe - Hydrogen - Airbus.”
<https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe.html> (accessed Jul. 17, 2021).
- [19] A. Gomez and H. Smith, “Liquid hydrogen fuel tanks for commercial aviation: Structural sizing and stress analysis,” *Aerospace Science and Technology*, vol. 95, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.ast.2019.105438.
- [20] S. Rondinelli, R. Sabatini, and A. Gardi, “Challenges and Benefits offered by Liquid Hydrogen Fuels in Commercial Aviation,” *Practical Responses to Climate Change. Engineers Australia Convention 2014 (PRCC 2014)*, 2014, doi: 10.13140/2.1.2658.9764.
- [21] “IATA - Fuel Price Monitor.”
<https://www.iata.org/en/publications/economics/fuel-monitor/> (accessed Jul. 17, 2021).
- [22] L. Sherry and T. Thompson, “Primer on Aircraft Induced Clouds and Their Global Warming Mitigation Options,” *Transportation Research Record*, vol. 2674, no. 11, pp. 827–841, Sep. 2020, doi: 10.1177/0361198120951188.
- [23] “A world first - an autonomous baggage tractor tested in real conditions | Air France - Corporate.”
<https://corporate.airfrance.com/en/press-release/world-first-autonomous-baggage-tractor-tested-real-conditions-0> (accessed Jul. 17, 2021).
- [24] CAA, “Safety and Airspace Regulation Group Airside Safety Management CAP 642,” Nov. 2018. [Online]. Available: www.caa.co.uk.
- [25] “SkyBreathe Fuel Management Software - OpenAirlines.”
<https://www.openairlines.com/fuel-management-software/> (accessed Jul. 17, 2021).

What aviation for tomorrow's world?

- [26] R. Shrestha, I. Oh, and S. Kim, "A Survey on Operation Concept, Advancements, and Challenging Issues of Urban Air Traffic Management," *Frontiers in Future Transportation*, vol. 2, Apr. 2021, doi: 10.3389/ffutr.2021.626935.
- [27] J. Bachman, "United Airlines Bets on Supersonic Future With \$3 Billion Boom Jet Order - Bloomberg," *Bloomberg*, Jun. 03, 2021. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-06-03/united-bets-on-supersonic-future-with-3-billion-boom-jet-order> (accessed Jul. 18, 2021).
- [28] T. Schumacher, "F-35 & Big Data : épée de Damoclès pour la France et l'Europe ?," *Revue Défense Nationale*, vol. N° 810, no. 5, pp. 35–40, May 2018, doi: 10.3917/RDNA.810.0035.



Charlotte Hamon

Ecological transition, safety, technical breakthrough, international environment... I don't see many industries other than Aviation with that many challenges. One could find this discouraging; I find them exciting. I achieved this year, my aeronautical engineering degree specialized in flight operations and maintenance at ESTACA with an internship in the flight operations department of the regional airline, Air Antilles. I was able to discover the wide variety of challenges and issues related to the daily operations of an airline which serves many complex airports. My new position in Corsair as heavy maintenance manager reflects my wish to widen my scope of skills while integrating

an airline that shares with me the same desire for extension in a respectful and friendly environment regarding all ecological and technical challenges of tomorrow. From national basketball competition to the president of a humanitarian association and a fantastic journey in Cambodia, team spirit and determination both drive me and motivate me every day to deliver the best of myself.

Thomas Blanc

I am an aviation enthusiast. Not because of flying, sometimes I am even sick when I take the plane. But because this industry has this unique ability to reduce distances and create an international and common environment for all. Curiosity and determination lead me during my entire school career starting with ESTACA, a French aeronautical engineering school, and finishing with an MSc in Air Transport Management at Cranfield University. I tried to open as much as possible my spectrum of knowledge in the industry from the technical to the business side. Passionate rugby player, captain, and trainer, I strongly believe in team spirit and friendship to raise everyone always closer to a common objective. Currently working as Aviation Associate for ICF Consulting, I hope I will be able to contribute, in my career, to the development of a sustainable and efficient aviation.



What Aviation for Tomorrow's World

Personalisation & Flexibility keys for
tomorrow's sky



BLANC Thomas Cranfield University & ESTACA
HAMON Charlotte ESTACA

Introduction

When it is asked to define tomorrow's world, people generally struggle to describe unanimously the perspective and the evolution of our lives on earth. Some with limitless imaginations easily perceive a world like Star Wars, the 5th element, or Back to the future and are certain that technology will bring us in Science Fiction. Others, probably more down to earth, envisage the future as a slow return to a sustainable economy and respectful of our environment where enjoying the little pleasure of life and be content with what surrounded us will be essential. However, both these mentalities have been deeply impacted by two events. Heart of all discussions for decades, the first one is climate change and the ecologic urgency revealed and supported by scientists from all around the world. The second and very recent one continues to impact the life of the 7 billion humans on earth: The Covid-19.

The aviation, communication medium, and transformation vector has this unique ability to mix and meet cultures from all around the world. Therefore, it is often the heart of heated discussion between all visions. Economically it is one of the most fragile and first industries to collapse when something on earth is going bad. Its resilience lead by passionate people allows it to always recover and find solutions, ahead of its time with limitless efforts in innovation researches. However, it will be crucial to change the pejorative image of aviation as it is too often the targeted of bad social and environmental behaviour, probably the result of misleading publicity and marketing. The aeronautical world could for example showcase the two values we hold dear as it will represent the future: Personalisation and Flexibility.

In order to define aviation for tomorrow's world, this paper will be organised around three questions: What will impact tomorrow's world? What will be tomorrow's aviation? What new technologies will shake the industry up?



Tomorrow's world (Covid 19/Environment awareness/Safety)

In order to understand what aviation will look like for tomorrow's world, we need to understand today's world. This first chapter is dedicated to the two events introduced hereabove and one timeless practice that shape the conception and perception of air transport: the Covid-19, the ecological awareness about climate change and Safety.

Covid 19

Started in 2019, this unprecedented pandemic reaches every single human on earth. Governments and institutions have taken historical measures constraining population and closing borders as in times of wars. The aviation industry is very highly connected to the world economy's health. Thus, whenever a financial crisis sparks, it is probably the first industry to collapse. Every crisis implies airlines, manufacturers, and all stakeholders to find solutions and innovate in order to survive and revive commercially.

With the urgency to relaunch the world on new basis, the Covid-19 vaccines have been and are still a crucial challenge for every country in the world. With major laboratories location being restricted to developed countries, it was critical to spread and share vaccine doses in the entire world

in very strict and complex conditions of conservations. The unique global solution is air cargo. Notably, Qatar Airways anticipating a very large demand and operating more than 500 flights to the areas most affected by the health crisis (Qatar Airways, 2021). They work closely with governments and NGOs, to transport around the world more than 250,000 tons of medical supplies and aid (Fabi, 2021). The aeronautical world has successfully met the objectives raised by this challenge in record time and has been able to adapt its operations to the health standards, always ensuring an optimum level of safety. This is flexibility.

In parallel and in the short term, the necessity to travel in a safe environment and the continuous improvement of new technologies



while enhancing onboard flight experience is shaping the future of the ultra-long-haul market for instance from London to Australia or even Middle East direct to the United States. Especially when stopover in foreign countries goes hand with lockdown, quarantine, and virus spreading risks.

Another critical aspect largely shakedown with the virus is linked to the emergence of connected devices available to any individual in the 21st century. With the possibility to do video-conferencing and phone calls throughout the world with low financial expenditure, the totality of companies eliminated business

trips for their employees to consequently reduce the risk of spreading the virus. With online habits now largely rooted to most employees, this trend could leave a long-term if not a definitive footprint on business travels. The uncertainty of the recovery in this domain is such that it could lead to large structural and strategic restructuring of some Full-Service Carriers. Tomorrow's commercial aviation could be largely constituted of leisure and VFR (Visit Friends and relatives) passengers. However, as developed in chapter 2, other aspects of the industry have expanded and even grow during the pandemic.



Environmentally friendly

On a completely different time-scale than the pandemic, the environmental urgency is also an issue that does exist and will doubtlessly impact the future of aviation. The climate change triggered and largely accelerated by human behaviours is an increasing concern for many people and at the heart and numerous political and strategic decisions. The aviation industry generates an important amount of greenhouse gas that once freed in the air contributes to global warming or the planet. The aviation industry needs to continue on the path already taken since many years which is to reduce the impact of aviation on global warming.

As briefly explained in the introduction, two main reactions

are to be expected when raising the subject of global warming. The first one is to refuse to use these pollutant technologies and to come back to more sustainable and environmentally friendly transport modes. The aviation industry has thus seen the flight shaming movement deeply impact the industry in Sweden for example. The other reaction and we believe is the only viable option for any worldwide market like aviation is to continue and pursue efforts and improvement of technologies until reaching a new and sustainable industry that will enable people to travel by air environmentally friendly



In a joint spirit, the aviation industry has set some very ambitious ecological objectives to counter the effect of climate change that goes beyond the reduction of fuel consumption. Aligned with the Paris agreement on gas emission reduction, the best response scenario for the industry is available in a graph in the annex. It notably shows that the main reduction will be reached through the utilisation of SAF (ATAG, 2020). The willingness of airlines and stakeholders of the industry to change their habits and their impact on the environment is deeply highlighted by the now-famous slogan adopted by many: “Be green keep flying”.

As showed in the graph, SAF will contribute up to 50% in reaching the objectives of the industry. Despite the encouraging improvement made notably by Air France this year by operating the first long-haul flight with 100% SAF a few months ago, the implementation of the SAF in the aeronautical landscape will require a strong collaboration between all stakeholders. (Santos & Delina, July 2021). SAF appears to be a great solution as it reduces the aviation's lifecycle carbon footprint by 80% and of aviation's

lifecycle carbon footprint and by 50 to 70% the number of contrails produced while being truly sustainable (AFKLM, 2021). Its impact on other industries is minimal as it does not compete with useful plantations like food or simply nature as it uses vegetable wastes from food or agriculture as a source of production.

Alternatively to SAF, Airbus has announced the creation of a future fleet propelled by hydrogen engines. Futuristic and unsure yet, these aircraft are expected to have zero pollutant emission and could constitute a great alternative to current aircraft. Consequently to Airbus' announcement, Airbus, Air Liquide, and ADP announced a collaboration agreement to conduct a study on the integration of hydrogen-powered aircraft in current airports (Galéron, 2021) (Groupe ADP, 2021). This is a great example of the resilience of the industry and its profound desire to always improve aviation so that it will remain THE industry ahead of the world.

From the construction of the aircraft to its retirement, all aspects of the industry will have to be environmentally friendly. Daily



operations are probably the most reachable option that can reduce its impact on aviation greenhouse gases. From green taxiing with Safran Landing Systems to optimised air transport management, a large number of companies strive for better use of current technologies (Open Airlines, Safran Landing System, Amsterdam Schipol). The main advantage is that reducing fuel consumption means reducing costs, therefore Ryanair and Easy Jet already encourage their pilots to systematically use single-engine cabs to save fuel when taxiing which goes in hand with

Safety first:

Despite the importance of the two previous subjects, the entire industry starting with ICAO agrees that the number one priority of aviation is and will always be Safety. (ICAO, 2011)

Air transport is nowadays the second safest means of transport after elevators and the researches in this area are tremendous. Our vision of future aviation simply starts by transport mode where accidents, incidents, and any disruption would not even cross the mind of the customer. A future where flying would rhyme

promoting CAD (Continuous Approach Descent) procedures. These procedures are already in use at major international airports such as Orly and Los Angeles and reduce fuel consumption and noise pollution by eliminating "bearings". The flourishing of new aviation means, like drones, will doubtlessly use and enhance the development of these green management. It is essential for air transport to become a major player in the ecological transition which will require from all airlines to implement the best practices (Stubler, 2021).

for any human as a peaceful, serene, and safe environment. On one hand, reaching zero safety event implies an important level of involvement from all operators, reducing then the number of technological and technical incidents (EASA, continuously updated). Big data management is slowly bringing to the industry strong leverage as it will allow them to use predictive methods. Safety is constantly improved not only by manufacturers with new efficient and safe technologies but also by international authorities that always set higher standards.



Indeed, all major aeronautical authorities that constantly publish evolution of the regulations combined with the capacity of the majority of airlines to quickly and efficiently implement these new rules, make the aeronautical industry one of the most reliable and robust sectors in terms of regulations. A good example this year is the modification of the GRF which forces to strongly increase the runway length for landing on all the airports of the world to reduce safety events (STEFANIOROS, 2021).

On the other hand, and now speaking about security, studies have shown that the most stressful moment in a passenger journey located in the airport is the border crossing and the

baggage collection. Air transport is the only mean of transportation enabling any human to enter any country from anywhere in the world. This sentiment of freedom is also strongly monitored by national authorities and especially customs. These organisations have a double task: avoid illegal transactions of passengers and assure the security of everything that enters an aircraft. The first task has partially been resolved by the European Union by removing physical borders and therefore facilitate the migration of people. Achieving this on a global scale is probably impossible nevertheless, new technologies like biometrics will strongly enhance passenger's experience and provide a seamless experience.



Ultra-Connected World

Now that the three main challenges of the industry have been mentioned and partially answered in chapter one, this second chapter will entirely showcase our vision of the aviation future. Consequently, our point of view will be presented in three parts: personalisation, flexibility, and digitalisation.

Personalisation

Who reading this paper, does not have a smartphone? How many companies in the world work nowadays without a computer? Digitalisation is all around us, it is in our life, digitalisation is today. Any human from a younger age and living in a developed country uses and possesses a digital tool. Its utilisation is limitless and Humanity needed only 13 years from the launch of the first smartphone, iPhone on the 29th of June 2007, until today to develop all the utility we know. From purchasing new items, playing video games, watching videos, reacting to pictures, posts, the majority of people use daily these tools that release and create a limitless amount of data. Each human has a digital profile that knows even better than yourself your preferences and tastes. These data are mostly beheld by digital giants like social networks or internet search engines. Google, Apple, Microsoft, Facebook, LinkedIn all understand

the behaviours of any human on earth (Poza, 2018). Commercially, these data have an infinite value for any company possessing them. In the industry, think about what an airline already knows about you, your preferences in booking, your means of transportation, even sometimes your size and weight! Now we cannot predict which company will hold our data in the future, but think about how



powerful an airline could be by proposing the exact product expected by a client before it has even been ordered. This is personalisation.

An aircraft operator will be able to anticipate more precisely than ever, the movement of population and create the most optimised air transport management ever. Not only the impact on the environment will be reduced as previously explained, but the passenger journey will highly be enhanced. Everyone reading this can relate to how satisfying is the experience of traveling in the exact mean of transport you wanted, at the exact time of the day you wanted, and more importantly at the exact price you were expected. Google flights or companies like Kayak, Skyscanner are probably future stakeholders that will have a huge impact on the aviation future.

From an inflight experience perspective, just imagine having during your trip the exact pepperoni pizza you were dreaming of a few hours ago,

thanks to the airline that anticipated your tastes before even ordering it: this is the future. Even though logistically speaking, personalisation will be quite complex, the passenger will have the exact meal without asking for it. While enhancing customer satisfaction and reducing wastes, personal data analysis can deeply contribute to better aviation for all.

Reliable prognoses based on important data management will allow airlines to optimize their costs to the maximum. It's no secret that fuel consumption, which accounts for nearly 30% of the total expenses of airlines, is the number one enemy of aircraft operators and the main challenge for tomorrow as resources will become increasingly scarce (Eller & Moreira, 2014). Personalizing services by targeting customers will lead to the optimization of flight schedules and therefore reduced costs. It is a feasible and relevant alternative for airlines to bounce back from the crisis in the future.



Flexibility

One important aspect deeply demanded during Covid-19 is flexibility for any stakeholder. Not only the uncertainty of the current situation intimidates the passenger decision to book a ticket, but the airlines also cannot anticipate the demand. New measures have been taken by operators, notably for the reimbursement and voucher granting for travels even in economy classes. We strongly believe that this trend will not only pursue after the pandemic but could also create a new business plan where flexibility for the customer could be the heart of the offer. It is not hard to imagine commercial aviation where a monthly or yearly subscription would be asked and unlimited travel could be granted. Even though the complexity related to this kind of operation is immense, once again, big data management could enable airlines to provide the right supply to the right demand.

To consolidate our vision of aviation's future related to flexibility, we will use the only two aeronautical commercial domains where the crisis impact was only limited: Cargo and Business Jet.

Commercial aviation is not only about transporting passengers, it is also about transporting goods. Due to high prices, air cargo is generally only used for urgent and expensive goods like fruits, or cars... However, the offers delivered by cargo operators are also the most competitive in terms of deadline and delivery speed. Qatar Airways promises to all its customer to deliver an aircraft wherever they want in the world within the next day after notice. These very short timelines and showcased flexibility are very appreciated by customers and can even be a sales force when negotiating.

Effective solutions related to cargo to minimize the effects of the health crisis have been brilliantly and quickly implemented by manufacturers, for instance for small regional airlines. Indeed, manufacturers like ATR (Avion de Transport Regional) offered the possibility at the beginning of 2021 to obtain an STC (Supplemental Type Certificate) cargo seat bag to transform their passenger aircraft into cargo capabilities (Aeroconseil, 2021). Minor airlines with this new flexibility



can optimise their flight schedule and their yields by carrying passengers during the day and cargo at night and thus offer a more personalised and flexible service to their customers. This is the case for the regional airline Air Antilles.

With the advent of online shopping always promising shorter delivery schedules, even the biggest online shopping platform Amazon acquired a complete fleet of air cargo freighters (Amazon, 2021). Once again, the flexibility related to air transport is a major asset in the very competitive world. If we add to all these opportunities new

technologies like drone deliveries, a good could be easily transported entirely by air within 24h from one side of the world to the other with great accuracy as most human and unpredictable factors would be removed from the delivery.

Jointly to cargo, the other aviation domain that has recovered from the crisis and even outpaces the figures of 2019 is the business jet market. With very important stakeholders like NetJets, it is nowadays possible to assure a client a complete personalised and premium Business aircraft anywhere in the world within a 10hours notice (Netjets, 2021). Once again, the flexibility



proposed to premium customers is the crucial element standing out from the mass. With information and data moving faster than humans, it is crucial for a competitive industry to keep its major employees and leader in constant and flexible motion no matter the hour.

Once again it is the flexibility of the aeronautical world that is leading and will always lead the industry into recovery and adaptation to the market. It would also enable aircraft to fly toward new destinations that were previously underserved. Aviation

should then rhyme with the integration and the access of everyone without exclusion. No disability, fear, or handicap will never ever inhibit someone to take part in an air travel journey. Having said that, only 20% of the entire world population has ever taken at least once a flight. Continuing to break down the international borders as much as social boundaries would mean that any people on earth could access air transport, discover a new culture, understand them with an open mind, and in a dreamt world, restore peace in the world.

Digitalisation in the Aviation

However, aviation's flexibility and personalisation are constrained by one major factor: Physical limits. It is and will probably never be possible to teleport itself instantly (we never know though, let's keep dreaming). An airline's concept has successfully tackled this issue: digital airlines. Indeed, a digital airline sells seats in traditional airlines without owning a single aircraft. They are fully released from any operational constraints and are able to propose the exact trip wished by its customer. Focused

on the core mission of flying a passenger or a good, these airlines are a perfect example of flexibility in a digital world (Franko, 2021). We firmly believe that this type of airline could be the future and be owned and run by online booking platforms like Kayak, Google Flight, or even Skyscanner because they understand even better than airlines the customers' behaviours.

The last iPhone invades the world probably as fast if not faster than any vaccine for the Covid-19 and it





is the perfect illustration of the importance given to digitalisation in our world. Its development seems limitless and new abilities are being created every minute. Already highly present in the production industry, Artificial intelligence is slowly but surely entering the cockpits of modern aircraft. By removing the human factor out of the air travel journey, single-pilot cockpits where constant adaptation and automation would be enhanced are to be expected in the coming years.

Always pushing the industry toward new limits, the Defence industry appears to be the perfect starting point for any technological innovation. Flexibility and personalization match perfectly with their values. Contrary to commercial aviation, no mission is similar to a previous one. They do not have history or anticipation to rely on. Being able

to have flexible aircraft and personalised weapons would enable them to be always more efficient no matter the operation. And indeed, it is well known that military helicopters or aircraft are always reaching new countries and environments. Digitalisation is not unfamiliar with the domain and already countless digital military tools are used day-to-day. Now more than ever, and efficient dataflow management could result in any operation in a successful teaming of the best from technology and the best from humans.

Nonetheless, data utilisation is raising safety issues with among other things: cybersecurity. On the commercial side, personal data held by digital giants are constantly the victim of cyber-attacks that could release and leak all the information of any customer. This issue is even worth the military data that contains



critical information about the security of nations. The ability to attack from wherever in the world with only a computer is leading to some new form of terrorism especially with AI and automatic aircraft for example. The challenge of today and which will be crucial in the future is to learn how to quickly and efficiently counter these virtual attacks. As highlighted earlier, security is the top priority in the air, and these growing non-physical threats are growingly a priority for the Defence sector.

Besides, a very important aspect that is only starting to be raised in people's minds is the impact of data storage on the environment. The clarity of visual fuel pollution

made by fumes is nowadays the issue to tackle for aviation. But the increasing number of data stored daily by worldwide users requires a high quantity of energy for them to run efficiently. The impact on the environment is still unknown and it will someday have to be answered (Liu, Gailhofer, Gensch, Köhler, & Wolff, 2019). New technologies Because it is important to dream, that last part will introduce a wide number of innovations that are developed and will be part of our daily lives in the coming years. Even though these technologies are not fully operational yet, they will contribute to the industry and probably force humans to redefine the boundaries of our approach to aviation.

VTOLs

Now that it is possible to even for a child to acquire a drone capable of complex flights, hasn't it ever crossed your mind to fly one day in a human-scaled toy and fly it freely wherever you want? VTOL comes directly from factories to answer your biggest dreams. Vertical Take-Off and Landing aircraft (VTOL) and Electric VTOL are being developed in the entire world by a varied number of

companies. Considered by many as an ecological alternative to other means of transportation, they are even expected to be operational for the Olympic Games of Paris 2024 (AFP, 2021).

The utilisations of this type of aircraft are simply limitless. From unblocking traffic jams in crowded city centres to improving the access and travel time of enclaves



countryside, it will simply improve the lives of millions of users. This unknown domain of aviation will require from industrial and regulatory authorities important work in order to assure the integration of these technologies in the aeronautical landscape while keeping safety as the number one priority (EASA, 2021).

VTOLs also deeply contribute to what we considered as being the core aspect of tomorrow's aviation: personalisation and flexibility. Indeed, a VTOL could as much be owned by any human as it already is possible with cars. If it becomes similar to the automobile industry, diversification and

personalisation would simply be infinite. Just imagine being able to buy next to the just-released Electric Jeep, the VTOL you had in the poster as a child and on which you can now choose the colour of the blades, the seats, the engines, and the livery.

But before reaching this sweet dream, big regional authorities like city halls or regions will be the ones operating them (TIPHANEAUX, 2021). This new kind of public transportation will enable any user to fly and access that beautiful feeling of freedom. This would be another step forward into flexible aviation open for all.



New Aircraft design

In parallel, in the limitless quest for emission reduction, numerous ambitious manufacturers and researchers have developed new interesting designs. For a non-aircraft aficionado, it is very complex to differentiate two aircraft models, and apart from the A380 and the 747, all aircraft have the exact same design with one cylinder, two wings, and two engines. This historical look has some wonderful ability and allowed aviation to become in less than a century more than vital for the world's economic health and growth. But wouldn't it be time for a manufacturer to start their design revolution? The efforts given to the integration of connected cockpit and digital air transportation have provided a

level of safety and some great improvement in the reduction of emission. But as previously mentioned, reaching a carbon-neutral industry before 2050 also means that every single improvement has to be adopted. One major breakthrough is the flying wing aircraft and notably the latest design made by the KLM Flying-V model (KLM, 2020). Using relatively similar technology in terms of the engine to today's aircraft, this type of wing is expected to reduce by 20% the average fuel consumption compared to today's latest design. After the digital revolution of the industry that has already started, designs could be the next significant milestone of aviation.

Supersonic Jets and space travel

Speaking of the general public, if there is one aircraft that went through every generation without taking a winkle, it is the Concorde. People that have had the chance to fly in this aircraft are nowadays considered legends and tales around it still make people dream. That supersonic jet simply arrived 60 years ahead of its time. With

the announcement of United investment in 15 supersonic aircraft, aviation is ready to enter a new era for a successful launch of supersonic capability this time, and gain back the ultimate advantage of air travel: Speed (Boom, 2021). Indeed, with the approaching operability of the Hyperloop Elon Musk's project,



the aircraft would lose the historical advantage of reduced travel time (Virgin Hyperloop, 2021). With capacities very similar to an airplane in terms of speed without the airport constraints, this levitating high-speed train could be the next major competitor to aircraft. Being a real bet for the airline, Boom Supersonic will be able to fly over the speed of sound from 2029 as a net-zero carbon aircraft.

Richard Branson, another incredible forward-thinking entrepreneur of our time also made another of our dream come true: reaching space for fun. Only reserved to space tourism at the moment, if spacecraft would be able to transport passengers from one place to another via a short journey in space, wouldn't it be considered aviation? Once this milestone is reached, aviation might need to redefine its boundaries and even its definition (F abi, 2021).



New airport

No matter the coming innovation or the possible redefinition of aviation, one commonality that has never changed in decades is that an air journey starts from an airport and ends in an airport. However, with the arrival of VTOLs and drones in our daily lives, the future architecture of urban airspace is being redrawn (Vidal, 2020). The boundaries of an air travel journey are therefore in constant redefinition. Airports will never be as close to city centres as in the future. While long haul could be achieved through still “traditional” airlines, an electric VTOL could be waiting at the exit of the aircraft to transport passengers directly into city centers without interruption.

And even without VTOL, a real revolution has started in the

design of new airports. With the integration of new innovations and capacities conducting to seamless experiences for all passengers, the airport should in the future more look like a city centre than a controlled and monitored environment. New technologies should enable airports to importantly reduce the impact of international borders and security checks on a passenger satisfaction journey. Contactless controls and biometrics technologies could lead to travels where a customer will never be asked to stop, to wait in line, and even to be controlled by security agents. Not only the experience will become peaceful but it will also be as easy for a passenger to take a train as a plane.



Conclusion:

The aeronautical world is a wonderful universe mostly composed of passionate people. They are probably the leading reason that makes this industry as resilient as it is. With safety in the heart of any decision, major regulatory authorities are constantly shaping and preparing aviation to become an industry safer than ever. The cyclical and changing nature of world economics and its direct impact on the aeronautical sphere forces stakeholders to constantly adapt themselves to the environment. The increasing and rapid development of e-commerce throughout the world is one of the major changes that is impacting deeply air transportation. Our vision of aviation for tomorrow's world is strongly related to this ability of adaptation with two keywords: Personalisation and Flexibility. Applying these two principles to the industry would not only lay strong foundations no matter the external environment but will also enable aircraft to be closer than ever to human demands. Lastly, it would not be a paper about the future without approaching the very sensitive subject being climate change. As young engineers, born and raised in a world where we were continually repeated that our planet has a deadline because of human behaviours. We can only spot a future where flying would have as much impact as taking the bike nowadays. Over the years, the industry has made significant progress in efficiency of its operations and technology. Yet, the rapid growth in the volume of air traffic constantly outpaces these savings for now. That ideal vision of the zero-emission aeronautical world seems so illusory and, in the meantime, so realistic thanks to all the beautiful projects and pioneers that dreamt and started to build a world we envisaged. That's why today, besides the bad communication sometimes, the aeronautical industry is one of the most sustainable and robust sectors especially in terms of regulations. We believe that it is this passion of the various players and this collective determination that will ensure that aviation a bright and clear future in our hostile world.



Annex

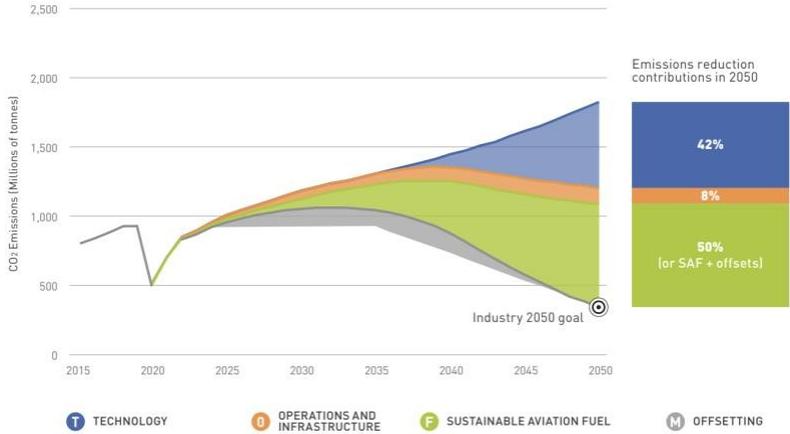


Figure 1: Aspirational and aggressive technology perspective Scenario for the industry response to Climate change objectives. Source: (Air Transport Action Group, 2020))

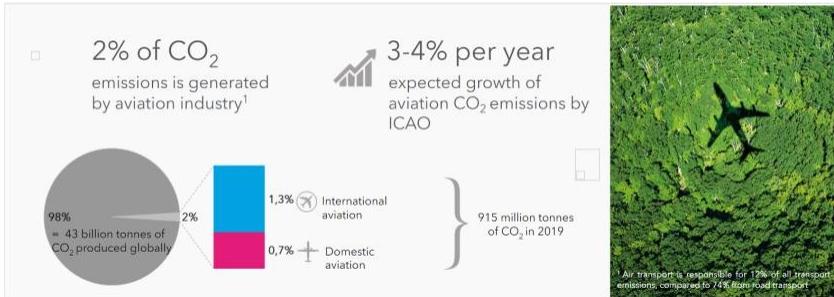
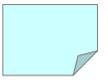


Figure 2: Aviation impact on Climate change (Source: (ATAG ICAO, 2020))



Bibliography

- Aeroconseil. (2021). *STC Cargo seat bag*. ATR.
- AFKLM. (2021, May 2021). *Air France-KLM, Total, Groupe ADP and Airbus Join Forces to Decarbonize Air Transportation and Carry Out The First Long-Haul Flight Powered By Sustainable Aviation Fuel Produced in France*. Retrieved from Air France KLM Group: <https://www.airfranceklm.com/en/air-france-klm-total-groupe-adp-and-airbus-join-forces-decarbonize-air-transportation-and-carry-out>
- AFP. (2021). *Taxis Volants: Une trentaine d'acteurs pour développer une filière française*. *Le journal de l'aviation*.
- Amazon. (2021). *Amazon purchases 11 aircraft from Delta and WestJet to join Amazon Air's network*. Amazon.
- ATAG. (2020). *Waypoint 2050*. Air Transport Action Group.
- ATAG ICAO. (2020). *Aviation impact on Climate change*. ICAO.
- Boom. (2021). *UNITED GOES SUPERSONIC*. Retrieved from Boom: <https://boomsupersonic.com/unity>
- Chartered Institute of Ergonomics and human factors. (2020). *THE HUMAN DIMENSION IN TOMORROW'S AVIATION SYSTEM*. Chartered Institute of Ergonomics and human factors.
- EASA. (2021, June 23). *Special Condition for VTOL and Means of Compliance*. Retrieved from EASA pro: <https://www.easa.europa.eu/document-library/product-certification-consultations/special-condition-vtol>
- EASA. (continuously updated). *EASA Easy Access Rules*. EASA.
- Eller, R. D., & Moreira, M. (2014). *The main cost-related factors in airlines management*. *Journal of Transport Literature*.
- Fabi, S. (2021). *Virgin Galactic obtient le feu vert de la FAA pour les vols commerciaux dans l'espace*. *Air Journal*.
- Fabi, S. (2021). *Qatar Airways fait le bilan de l'année 2020*. *Air Journal*.
- Franko, I. (2021). *Airline Digital Transformation Case Study [Eurowings Digital]*. *Diggin Travel*.
- Galéron, F. (2021). *ADP, Airbus, Air Liquide en ordre de bataille pour accueillir l'avion à hydrogène dans les aéroports*. *La Tribune*.



- Groupe ADP. (2021). *AIR LIQUIDE, AIRBUS ET LE GROUPE ADP S'ASSOCIENT POUR PRÉPARER LES AÉROPORTS À L'HEURE DE L'HYDROGÈNE*. Paris: Groupe ADP.
- ICAO. (2011). *International Civil Aviation Organization Developing Tomorrow's Aviation System*. ICAO.
- KLM. (2020, September 1). *KLM and TU Delft present successful first flight Flying-V*. Retrieved from KLM Royal Dutch Airline: <https://news.klm.com/klm-and-tu-delft-present-successful-first-flight-flying-v/>
- Liu, R., Gailhofer, P., Gensch, C.-O., Köhler, A., & Wolff, F. (2019). *Impacts of the digital transformation on the environment and sustainability*. Berlin: Oko Institut.
- Netjets. (2021, July 10). *NETJETS CARD PROGRAM*. Retrieved from Netjets: <https://www.netjets.com/en-us/private-jet-card-program>
- Poza, D. (2018). 3 Tools For Digital Transformation in the Airline Industry. *auth0*.
- Qatar Airways. (2021, May 05). *Qatar Airways Cargo Convoy Departs to India Carrying Medical Aid and Equipment to Support COVID-19 Relief Efforts*. Retrieved from Qatar Airways: <https://www.qatarairways.com/en/press-releases/2021/May/India-Cargo.html?activeTag=Press-releases&fbclid=IwAR1Xkdt-Arnm2LxPv3deG7B1zqFoVdscgZ3DoCT0vI0s3037GnawPTIIS5M>
- Santos, K., & Delina, L. (July 2021). Soaring sustainably: Promoting the uptake of sustainable aviation fuels during and post-pandemic. *Energy Research & Social Science*.
- STEFANIOROS, V. (2021). *Implementation of GRF in EU*. EASA.
- Stubler, N. (2021). Transavia CEO. (B. Business, Interviewer)
- TIPHANEAUX, S. (2021). LE TRANSPORT URBAIN AÉRIEN DE PASSAGERS : SCÉNARIOS DE DÉVELOPPEMENT DU VTOL. *Les échos*.
- Vidal, L. (2020). Designing the 'Airport of the Future'. *Aviation pros*.
- Virgin Hyperloop. (2021). *Project pegasus*. Retrieved from Virgin Hyperloop: <https://virginhyperloop.com>





Léa Guipouy

Native from Bordeaux, where aerospace and defense play a major role in the economy of the region, my interest in the sector quickly came out. Aware of the complex issues aeronautics is facing today, and of the need for multidisciplinary profiles, I wanted to acquire hybrid skills. This is the reason why I joined the double degree in engineering and management Audencia / Centrale Nantes.

During my studies, I was particularly interested in Industrial Engineering as well as Corporate Finance, my two areas of specialization. I was also able to confirm my interest in the aerospace and defense industry through professional experiences in France and abroad, at Sabena Technics, and now at Thales.



Mathieu Robazza

Native from New Caledonia, I was passionate about aeronautics from an early age. I started flying at the age of 15, obtained my Private Pilot License at 17, and joined the French Air Cadets in 2019. It was therefore natural that I pursued studies geared towards aeronautics. I thus joined the general engineering course of Centrale Nantes then CentraleSupélec with two specializations in aeronautics and space.

During my studies, I confirmed my interest in aeronautics through various experiences. First of all, within Airbus Helicopters in ground and flight tests; then within Safran Aircraft Engines, in R&D and today in Engineering Graduate Program at Safran Electronics & Defense.

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

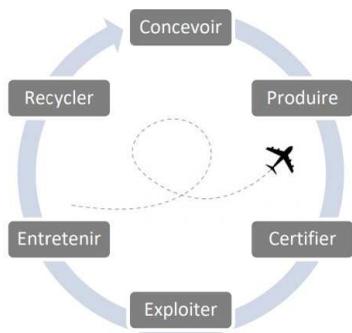
USAIRE Student Awards 2021 – “*What aviation for tomorrow's world?*”

Léa Guipouy & Mathieu Robazza



INTRODUCTION

Le secteur aéronautique est un secteur en constante évolution, avec une dynamique d'innovation permanente. La crise du Covid 19, en impactant durement nos modes 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 vrille 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 voie de développement. 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 '3D EXPERIENCE' 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 dores et déjà assez avancées. Déjà en 2012, le nEUROn, démonstrateur de drone de combat (ouUCAV, 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., *Recommandations for implementing the strategic initiatives INDUSTRIE 4.0 – Final report of the Industrie 4.0*

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

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).
- 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, *Cassiopee : 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.

¹⁰ Directeur Exécutif d'Accenture Strategy

- 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.

Le sujet des USAIRE Student Awards
2022 sera :

**The future of Industry-to-Government
relationships in civil and defence
Aerospace.**

*From R&T to operations: new ways of funding,
contracting and novel business models.*

Avec le généreux soutien de nos sponsors

Sponsors du gala



Sponsors des USAIRE Student Awards



Sponsors de la tombola



Brochure imprimée avec le généreux soutien de

