

Be Green, Keep Flying!

USAIRE Student Awards

Sous le patronage du Ministre délégué chargé des Transports,

Jean-Baptiste Djebbari





Table des matières

Préface du Ministre Jean-Baptiste Djebbari	3
Nos sponsors	4
Membres du Jury 2020	5
Un mot du président d'USAIRE	6
ORAJe	7
Nos partenaires	8
Les lauréats 2020	11
Les prix 2020	12
La remise des prix au Paris Air Forum	15
Les gagnants de l'édition 2020	16
Les deuxièmes lauréats	39
Les troisièmes lauréats	54
Les quatrièmes lauréats	75
Le cinquième lauréat	110
L'annonce du sujet 2021	135



Préface du Ministre Jean-Baptiste Djebbari

« L'aéronautique fait la fierté de la France. La première force de ce secteur, ce sont les femmes et les hommes qui travaillent pour lui, et la jeunesse qui grandit leurs rangs. Dans la crise sans précédent que nous traversons, les USAIRE Student Awards sont donc plus que jamais essentiels.

Je n'ignore pas les doutes et les tiraillements auxquels sont sujets les étudiants. D'une part, il y a leur vocation, leur passion, leurs rêves de conquérir le ciel – que je ne connais que trop bien. De l'autre, il y a l'impératif écologique, la nécessité de réduire nos émissions, le regard de la société qui change vis-à-vis de l'avion. Les deux peuvent sembler contradictoires. Le défi est précisément de les réconcilier.

Certains considèrent que réduire nos émissions implique de réduire nos déplacements. Or il existe une autre solution : innover, plutôt que d'abolir notre liberté ; transformer l'aviation, plutôt que d'y renoncer ; la rendre plus verte, par des moteurs plus sobres et des appareils plus légers.

Nous sommes en bonne voie : la filière biocarburants est lancée, avec des taux d'incorporation ambitieux – 2% en 2025, 5% en 2030, 50% en 2050. Le verdissement industriel est lui aussi enclenché, avec l'ambition de faire voler des avions hybrides dès 2027, et des avions à hydrogène zéro carbone dès 2035.

Pour faire de ces ambitions une réalité, nous avons besoin de voir plus loin, de repousser les limites, d'inventer l'impossible. La jeunesse, par son audace et son engagement, peut nous y aider. Elle nous y aide déjà, à travers les USAIRE Student Awards.

Merci à tous les participants pour la richesse, l'inventivité et la diversité de leurs contributions, et toutes mes félicitations aux lauréats! »







Avec le généreux soutien de nos sponsors



























Membres du jury

Franklin AUBER

Singapore Airlines

Nicolas BERTRAND

Air France

Jean-Christophe BOERI

Armée de l'Air

Carl CHEVILLON

Raytheon

Yann COCHENNEC

Air & Cosmos

Nathalie DOMBLIDES

DGAC

Enea FRACASSI

Corsair

Claire GUILHOT

Boeing

Marc HAMY

Airbus

Patrick HORGAN

Rolls-Royce

Pascal PARANT

AAR Corp.

ORAJe

Cedric RENARD

Emirates

Bruno STOUFFLET

Dassault Aviation

Nathalie STUBLER

Transavia



Un mot de notre Président, Carl Chevillon

Chères lectrices, Chers lecteurs,

Cette année 2020 aura été un véritable trou d'air pour notre industrie aéronautique. La crise économique résultant de la pandémie a surpris le monde entier par son ampleur, remettant en cause les certitudes établies qui caractérisaient notre secteur.

Cette crise participe aussi à l'émergence de questions fondamentales concernant nos modes de vie.

Parmi celles-ci, la place de l'aérien dans le développement durable de notre planète revient comme un écho, particulièrement sur le continent Européen. Notre industrie a fait d'immense progrès en matière de consommation de carburant et d'émission de CO2 depuis le début de l'ère de l'aviation commerciale. Pour autant, en tant qu'acteurs de cette industrie, il est de notre responsabilité d'écouter et de tout mettre en œuvre pour répondre à cette nouvelle attente.

Et quoi de plus porteur que de soumettre cette question à la jeunesse elle-même, afin que celle-ci puisse participer à définir ce qui fera son quotidien ?

Vous trouverez ainsi à la lecture de ces brillants essais des analyses et des conclusions pertinentes.

L'USAIRE a été avant-gardiste, avec la création il y a 15 ans par Michel Dubarry, Président Europe et Afrique du Nord – Rolls-Royce International – à l'époque président d'USAIRE - des Students Awards visant à dynamiser les relations entre les grands acteurs du secteur, leaders d'aujourd'hui, avec les jeunes talents aéronautiques, leaders de demain. Aujourd'hui présidée par Carl Chevillon, gérant de Raytheon Systems France, notre association invite chaque année les étudiants à travailler sur un sujet prospectif pour notre industrie. Dans le cadre de la préparation de leurs travaux finaux, les finalistes ont eu l'opportunité de participer au séminaire de travail organisé par l'USAIRE, avec la participation d'Airbus, Air France-KLM, Boeing, Corsair, Dassault Aviation, la DGAC, l'IATA, Rolls-Royce, le Ministère des Armées, Agence Innovation Defense, et de Sciences Po Bordeaux. Leurs travaux sont ensuite soumis à un jury de professionnels et les prix remis ont été remis durant la cérémonie USAIRE des Student Awards qui s'est tenue à l'occasion du Paris Air Forum 2020, dans le cadre notre partenariat. Un séminaire de travail post-Student Awards sera traditionnellement organisé en coopération avec le Centre Études, Réserves et Partenariats de l'armée de l'air (CERPA), à l'école militaire courant 2021.

Dans la continuité du concours, l'association ORAJe, qui réunit les alumni du concours USAIRE Student Awards, continue de se développer en cultivant les relations déjà existantes tout en diversifiant et recherchant de nouveaux partenariats entre nos industries et la jeunesse.

Enfin, le Paris Air Forum fut également l'occasion pour l'USAIRE, et son partenaire Air&Cosmos, de délivrer le prestigieux prix de la « Personnalité aéronautique de l'année », crée sous l'impulsion de Pascal Parant, Vice President Corporate Marketing d'AAR pour la cinquième année consécutive.



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.



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...



Fondation de l'armée de l'air

Créée en 2015, la Fondation de l'armée de l'air est placée sous l'égide de la Fondation de France qui partage avec l'armée de l'air des valeurs communes : responsabilité, engagement, audace et qualité. La FAA a pour vocation de poursuivre l'objet d'intérêt général suivant :

- promouvoir l'esprit de défense et les valeurs de respect, de service, d'intégrité et d'excellence portées par l'Armée de l'Air, notamment auprès des jeunes;
- soutenir des événements destinés au grand public pour mieux faire connaître le souvenir, le patrimoine et les savoirfaire de l'Armée de l'Air;
- valoriser la recherche, l'innovation et la formation au sein de l'Ecole de l'Air, des centres de formation et de recherche ou d'excellence de l'Armée de l'air en favorisant l'ouverture et les échanges avec le monde socioéconomique et industriel;
- soutenir certains projets portés par des associations, fondations ou établissements en lien avec l'Armée de l'air ou des aviateurs.

Certains projets ont déjà été soutenus par la fondation : le centre d'excellences drones (Salon de Provence), le Mémorial des aviateurs morts en service (Le Bourget), le brevet d'initiation aéronautique ou bien encore les « Cadets de la défense » (en partenariat avec l'Education nationale)...

Engagée sur la voie de la modernité et de l'innovation, animée

de valeurs fortes et dotée d'un patrimoine aéronautique et d'un savoir-faire reconnus, l'armée de l'air développe grâce à la fondation des synergies qui lui permettent de maintenir son haut niveau d'excellence.





Fondation des œuvres sociales de l'air

Créée en 1936, la Fondation des œuvres sociales de l'air a pour mission de porter assistance au personnel de l'armée de l'air, de la direction générale de l'aviation civile, de météo France et à leurs familles qui sont en difficulté à la suite d'un « accident de la vie » survenu à l'un des leurs.

Elle accorde des aides scolaires ou des bourses d'études aux orphelins. En complément de l'aide apportée par les organismes sociaux, elle accompagne le personnel militaire ou civil qui doit faire face à des situations exceptionnelles et imprévisibles... Elle apporte un soutien financier en partenariat avec l'opération social du ministère de la Défense aux mineurs afin de séjourner dans des centres de vacances de jeunes, de participer aux séjours linguistiques ou aux stages BAFA. Son geste de solidarité et d'entraide s'exprimer au profit de blessés en opérations, d'écoles, de maisons d'enfants et d'adolescents à caractère social ou lors de décès.

La FOSA organise des événements particuliers tels les meetings de l'air pour collecter des dons afin de poursuivre sa mission sociale.

Pour faire un don (défiscalisable) à cette association, visitez www.fosa.fr





Le Centre Etudes, Réserves et Partenariats de l'Armée de l'air





Janvier 2020
USAIRE Post Student
Awards à l'école miliaire
avec le CERPA et les
lauréats 2019.

Le CERPA regroupe au sein d'une même structure un pilier Réserves et un pilier Partenariats regroupant les domaines « Patrimoine », « Jeunesse-Armées-Nation » « Etudes » et « Rayonnement ».

Directement rattaché au Major général de l'armée de l'air, le CERPA est en charge de la définition et de la mise en application de la politique des Réserves opérationnelle et citoyenne de l'Armée de l'air. Il est responsable du pilotage de la fonction réserve de l'Armée de l'air et de ses ressources budgétaires.

Il élabore et décline en outre la stratégie partenariale de l'Armée de l'air avec comme ligne directrice la valorisation de la place qu'elle occupe au sein de la société.

Il met en œuvre les actions en faveur de la Jeunesse, de l'Egalité des Chance et du lien Armée-Nation, celles relevant des traditions et du devoir de mémoire, et œuvre à la valorisation du patrimoine matériel et immatériel de l'Armée de l'air.

Il enrichit la réflexion de l'Armée de l'air par la conduite d'études et de recherches en lien étroit avec le monde universitaire et la société civile.

Il contribue au rayonnement national et international de la pensée aérienne française par l'organisation de colloques et de séminaires ou par la publication d'ouvrages. Il anime également le réseau ADER, réseau de colonels de la réserve citoyenne de l'armée de l'air.

Constitué de deux entités implantées à Paris et Villacoublay, son directeur est un officier général, désigné, par délégation du CEMAA, Délégué aux Réserves de l'Armée de l'air (DRAA) et Délégué au Patrimoine de l'Armée de l'air (DPA).



Premier Prix

Corentin LEFLOCH & Florian GANDON ISAE Supaero & Sciences Po Paris

Deuxième Prix

Ophélie TAN & Dan HAZIZA ESSEC Business School / Grenoble INP Phelma & IPSA / ESSEC Business School

Troisième Prix

Simon MOZZICONACCI & François-Xavier LE QUINTREC Sciences Po Paris & ESSEC Business School

Quatrième Prix

Christine LIN & Chiu-Yüeh BLAISE UTC Compiègne & Cranfield University

Cinquième Prix

Jonas BEUCHERT
University of Oxford





Prix USAIRE Student Awards 2020

1er prix

Deux billets A/R Singapore Airlines pour Singapour
Une visite du site Rolls-Royce à Singapour
Une visite de cinq sites de production Collins
Aerospace (3 jours tous frais inclus)
Deux abonnements annuels à Air&Cosmos
Deux maquettes offertes par Boeing
Deux chèques de 700 euros offerts par USAIRE

2ème prix

Deux billets A/R Emirates pour Dubaï
Une visite de cinq sites de production Collins
Aerospace (3 jours tous frais inclus)
Maquettes offertes par Airbus
Maquettes offertes par Dassault Aviation
Deux abonnements annuels à Air&Cosmos
Deux chèques de 500 euros offerts par USAIRE

3ème prix

Deux billets A/R Air France Paris-New York
Découverte des activités de Aviation Sans Frontières
Maquettes offertes par Airbus
Maquettes offertes par Dassault Aviation
Un abonnement annuel à Air&Cosmos
Deux chèques de 400 euros offert par USAIRE

4ème prix

Deux billets A/R en business sur le réseau Corsair Maquettes offertes par Airbus Maquettes offertes par Dassault Aviation Un abonnement annuel à Air&Cosmos Deux chèques de 200 euros offert par USAIRE

5ème prix

Deux billets A/R Transavia sur le réseau
Visite de site Rolls-Royce UK
Maquette offerte par Airbus
Maquette offerte par Dassault Aviation
Deux abonnements annuels à Air&Cosmos
Un chèque de 200 euros offerts par USAIRE



Aviation Sans Frontières les Ailes de l'Humanitaire



1000 bénévoles sur tous les terrains



3900 réfugiés accompagnés vers une nouvelle vie



1800 heures de vol effectuées avec ses 2 avions basés en Afrique



13 tonnes de produits de première nécessité pour 12 pays



1200 prises en charge d'enfants malades



En France, 900 personnes handicapées accueillies dans le cadre des Ailes du Sourire



8400 colis médicaux acheminés dans 21 pays



750 adolescents sensibilisés au monde de l'aérien grâce à e-Aviation



www.asf-fr.org

Soutenez Aviation Sans Frontières

Mes coordonnées (titulaire du compte à débiter)

À découper et à retourner à Aviation Sans Frontières Orly Fret 768 – 94398 Orly Aérogare Cedex

(italiane da compte a debiter)
Nom:
Prénom :
Adresse :
Code Postal :
Ville:
Email :
Les données recueillies vous concernant sont nécessaires au traitement de votre don et à l'émission de votre reçu fiscal. Conformément à la loi Informatique et Libertés, vous disposeres d'un droit d'accès, de rectification, de radiation sur simple demande écrite à Aviation Sans Frontières, Orly Fret 768, 94398 Orly Aérogare Cedex. Vos coordonnées peuvemé têtre communiquées à d'autres organismes ou associations partenaires d'Aviation Sans Frontières, sauf avis contraire de votre part en cochant la case ci-contre
Je fais un don ponctuel d'un montant : €
Je fais un don régulier par prélèvement automatique
(merci de remplir l'autorisation ci-dessous et de la renvoyer accompagné de votre RIB)
Mandat de prélèvement SEPA
Manage de prefeventent 32174
Bénéficiaire : Aviation Sans Frontières ICS : FR55ZZZ459188
J'autorise l'établissement teneur de mon compte à prélever la somme de :
€ correspondant à mon soutien
STATE OF THE STATE
à Aviation Sans Frontières, de façon régulière, c'est-à-dire :
une fois par mois
une fois par trimestre
une fois par an (cochez la case choisie)
Unite fols par afficochiez la case choisie)
Je souhaite faire commencer les prélèvements à partir du 1/5/_/_2/0/1/_/
☐ J'accepte de recevoir mon reçu fiscal par e-mail.
Mes coordonnées bancaires :
Num ro d'identification international de votre compte bancaire IBAN (International Bank Account Number)
Code International de votre banque BIC (Bank Identifier Code)
Type d'encaissement : récurrent Date :
Lieu: Signature:
Signature
66% de votre don sont déductibles de vos impôts dans la limite de 20% de votre revenu imposable. Un reçu fiscal annuel vous sera envoyé.

Votro Bildernos Unique de Mondat (Bild) vous sons communiquée agait l'emigliament de votre prélèments. En aignet de formatier de mandat vous authents Auditors des frenches des refereixes à envery des intratutions de votre banque à débilder votre compte ce tout be nauge à débilder votre compte ce mondaire de mandat de la manuraire de la comment de la manuraire de la comment de l

14



En cette année particulière, USAIRE a décidé de s'associer avec le **Paris Air Forum** pour la cérémonie de remise des prix des USAIRE Student Awards 2020.

Ce moment a été l'occasion pour les représentants des compagnies aériennes de donner leurs prix aux neuf lauréats, ainsi que pour les étudiants de présenter leurs travaux.















Florian Gandon

Aerospace PE Analyst Intern - Ace Management

Master Finance & Strategy - Sciences Po Paris

Passionate about aerospace, I firmly believe that finance and public affairs represent two pillars for such a CAPEX-intensive and strategic industry. Consequently, I decided to enroll in the Finance and Strategy master degree of Sciences Po Paris.

Following experiences within Airbus, Sigfox and the Aerospace Committee of the French Parliament, I am currently interning as a Private Equity Analyst at ACE Management, where we are currently in charge of the French post Covid-19 €1bn rescue plan dedicated to the aerospace industry, notably funded by Airbus, Safran, Dassault, Thales, Bpi & Tikehau.

Corentin Lefloch

Data Science Last Year Student - ISAE-Supaero

Master Finance & Strategy - Sciences Po Paris

I have always been passionate about aerospace. Therefore, I joined the ISAE-SUPAERO engineering school after my preparatory classes. Then I enrolled in the double degree with Sciences Po Paris – finance and strategy master. Indeed, I am convinced that aviation is more than just engineering, and having knowledge in finance in addition is key to get a global understanding of the industry and its future.

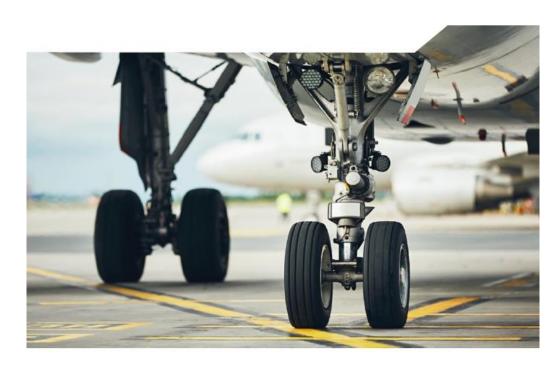
This year I am following my last year of studies in Data Science and Aircraft Operations at ISAE-SUPAERO.

Innover et se rénover : Plan de vol pour une industrie aéronautique verte

Livre Blanc

Usaire Student Awards 2020 - Be Green, Keep Fly

Par Florian GANDON & Corentin LEFLOCH



Introduction

a pandémie de Covid-19 met en exergue l'extrême sensibilité du secteur aérien à la dimension environnementale. Alors que l'enjeu écologique mobilise la communauté internationale de manière croissante, l'industrie aérospatiale civile et militaire est particulièrement ciblée, comme le symbolise le mouvement d'origine suédoise "Flygskam". Représentant 2% des émissions de CO2 mondiales, elle doit prendre pleinement part à la transition écologique.

Dans ce contexte, l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) a établi lors de sa 37e assemblée un double-objectif ambitieux : assurer une croissance neutre en carbone à partir de 2020 et atteindre une amélioration annuelle de la consommation des aéronefs de 2% jusqu'en 2050.

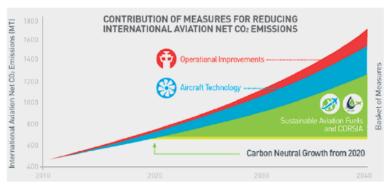
Ce mouvement est d'ores et déjà en cours depuis le premier choc pétrolier. La réduction des émissions est en effet intimement liée à celle de la consommation de kérosène, permettant des économies d'exploitation massives. Ainsi, l'amélioration incrémentale des structures traditionnelles d'aéronefs a permis d'accroître de 80% leur efficacité énergétique par rapport aux années 60.

Cependant, la limite physique des technologies existantes semble sur le point d'être atteinte. Un nouveau paradigme doit donc être adopté afin d'accélérer les efforts du secteur, dans un contexte de croissance structurelle du trafic aérien, malgré l'impact négatif de court-terme de la crise actuelle. La promotion d'une industrie aéronautique verte devient dès lors un facteur majeur de compétitivité, dans un marché au cœur de la souveraineté des états et bouleversé par l'essor d'acteurs émergents, notamment chinois.

18

Ce Livre Blanc a ainsi vocation à proposer une organisation du secteur à l'échelle internationale, permettant de relever le défi technologique sans précédent auquel il fait face.

Il fait consensus que seul un panier complet de mesures, incluant la structure des aéronefs, la motorisation, les carburants et les opérations en vol contribuera à l'avènement d'un transport aérien écologique. Or, la faible maturité de la plupart de ces technologies repousse à plusieurs années les grands choix stratégiques pour les deux prochaines générations d'avions civils. La première partie est ainsi destinée à présenter et évaluer les principales pièces technologiques du puzzle qui permettra d'atteindre les objectifs fixés par l'OACI.



Source: OACI

Comme tout puzzle, celui-ci doit être assemblé avec cohérence. Par conséquent, la seconde partie aura pour ambition de présenter un cadre institutionnel, légal et financier de l'industrie aéronautique à l'échelle internationale, qui permettra d'acter les grandes orientations stratégiques des prochaines années et accompagner la filière dans la mutation profonde de son modèle économique. Celui-ci ne pourra se cantonner aux seules émissions de CO2. Les rejets sonores et de NOx, la qualité de l'air local (LAQ) et la contribution sociale de la filière devront faire partie intégrante de cette réflexion.

Partie 1 - L'avion vert, un puzzle aux mille et une pièces technologiques

es grandes mutations de l'aviation ont toujours été engagées par un bouleversement technologique. Les frères Wright ont, avec le développement du moteur à combustion, pu concrétiser le rêve Icarien d'un homme volant. De la même manière, l'avènement du moteur à réaction, à travers le De Havilland Comet, a permis le décollage du transport aérien commercial.

Aujourd'hui, l'industrie aéronautique doit engager une nouvelle révolution : celle de la neutralité environnementale. A la lumière du passé, cette mutation ne pourra donc être actée sans un réel travail d'innovation technologique. Celui-ci doit être pensé à travers deux dimensions : temporelle et fonctionnelle.

1. Un futur en deux horizons

Le cycle de développement d'un programme aéronautique et les niveaux de maturité inégaux entre les différentes technologies nécessaires pour atteindre une neutralité écologique dessinent un chemin en deux étapes.

2030 : une première étape vers l'avion vert

Afin de promouvoir un soutien public jusque-là sans précédent, les discours politiques placent l'avion « zéro émission » comme élément central des stratégies nationales. Bruno Le Maire annonce en ce sens « un avion neutre en carbone à l'horizon 2035 », grâce à des injections massives de capitaux et à la réduction globale du temps de développement des dernières générations d'appareils. Celui-ci est, à titre de comparaison passé, de plus d'une décennie à sept ans pour l'A350.

Cependant, l'industrie aéronautique est confrontée à de multiples problématiques, pouvant remettre en question l'achèvement d'un tel projet dans le temps imparti. L'inégale maturité des technologies envisagées en est le principal obstacle. A titre d'exemple, l'ébauche proposée par le ministre de l'économie français se base largement sur le recours à l'hydrogène, carburant dont la production décarbonée reste

aujourd'hui extrêmement limitée et complexe. Même si, à l'image de l'Allemagne, de nombreux pays ont récemment engagé un plan d'industrialisation de sa production, les contraintes techniques comme la forte consommation électrique de l'électrolyse ou la certification d'un nouveau mode de propulsion sont autant d'écueils qui pourraient augmenter à court terme l'empreinte écologique d'un tel avion.

Par conséquent, cette première génération post-COVID ne pourra reposer intégralement sur des technologies de rupture pour atteindre ces objectifs. À l'image de l'intégration des matériaux composites depuis les années quatre-vingt-dix, il apparaît plus réaliste et pertinent de pousser au maximum les technologies actuelles, parallèlement à une introduction progressive des plus novatrices. Cette stratégie permettra de gagner en maturité sans risquer la mise en péril d'un projet industriel trop ambitieux.

L'avion de 2035 ne sera alors en apparence pas en rupture totale avec les générations précédentes, mais de nombreuses innovations technologiques y feront leur apparition, comme sur l'ecoDemonstrator de Boeing. L'amélioration incrémentale des motorisations et structures d'aéronefs, telle la mise en place de profils laminaires étudiée dans le cadre du projet Blade d'Airbus, l'optimisation des opérations, l'utilisation d'une part croissante de biocarburants et d'hydrogène et un éventuel appareil civil régional électrique permettront ainsi de réaliser un pas significatif vers un transport aérien « 0 émission ».

2050 : une rupture totale avec l'aviation actuelle

A l'horizon 2030, l'ensemble des technologies de rupture jugées aujourd'hui comme les plus prometteuses pour la transition verte de l'industrie aéronautique auront atteint un stade de maturité avancé. Il sera dès lors possible d'identifier avec exactitude la solution, ou plus probablement l'ensemble de solutions, le plus pertinent pour atteindre la neutralité environnementale du transport aérien sur l'intégralité du cycle opérationnel.

La méthode de propulsion constituera l'élément central de cette mutation. Ainsi, en une décennie, les filières électriques, hydrogènes et des biocarburants auront atteint une nouvelle dimension dans toutes les industries. Le secteur pourra donc s'engager avec assurance dans une ou plusieurs de ces technologies, leurs implications techniques, économiques et environnementales étant désormais clairement identifiées. Ce choix aura également un impact majeur sur la relation industrielle entre constructeurs et fournisseurs, qui doit d'ores et déjà être anticipée. A titre d'exemple,

la complexité de mise en œuvre d'une motorisation à base d'hydrogène imposera de lier davantage moteur, réservoir et circuit carburant.

La structure des aéronefs pourrait également faire l'objet de choix profondément disruptifs, sur des considérations purement physiques. Ainsi l'architecture de l'aile volante est particulièrement prometteuse. Avec le projet Maveric, Airbus vise à approfondir cette solution et estime les gains potentiels de consommation de kérosène à 20%. Bien que cette architecture soit déjà mise en œuvre dans un cadre militaire avec le B-2 Spirit, l'implémenter dans le civil nécessitera de relever de nombreux défis. Au-delà de la certification d'une architecture novatrice, un tel appareil conduira à repenser entièrement l'expérience des passagers. Les infrastructures au sol devront également être réaménagées pour ces avions, avec des dimensions et accès spécifiques.

Un autre concept porteur est l'ingestion de couche limite, notamment via la propulsion distribuée. Une telle architecture aura pour effet d'augmenter le rendement propulsif du moteur, réduisant ainsi la consommation d'énergie. Le projet Aurora D8 de la NASA et du MIT annonçait en ce sens des gains de 50%. Cependant un tel système sera extrêmement complexe à mettre en place. Tout d'abord, la modélisation complète des interactions entre le fuselage et les moteurs sont actuellement d'un coût trop important pour en permettre le développement, rendant ainsi l'optimisation aérodynamique encore très limitée. Étant donnée la configuration, chaque modification sur la cellule aura un impact sur le moteur et vice versa, empêchant de « plugger » des réacteurs sur un avion, comme il est aujourd'hui d'usage. Il sera donc une nouvelle fois nécessaire de repenser l'organisation motoriste-constructeur au cours de son développement.

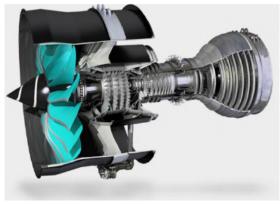
L'ensemble de la chaîne de valeur aéronautique se trouvera ainsi bouleversée par ces évolutions, aussi bien techniques qu'industrielles. Dès lors, leur mise en place requiert un horizon temporel postérieur à 2035.

2. Les quatre piliers technologiques de l'avion de demain

Face à l'absence d'une solution miracle, un transport aérien zéro émission représente un défi de taille pour le secteur. Garantir la bonne réussite de la feuille de route fixée par l'OACI implique une révolution technologique, autour de quatre axes distincts et un domaine transversal tout aussi fondamental : le digital. Ceux-ci auront pour objectif de couvrir l'ensemble du cycle de vie d'un aéronef, de sa production à son recyclage, tout en prenant en considération les impacts indirects induits par chaque solution.

De l'optimisation maximale des motorisations actuelles à l'arrivée de systèmes de propulsion disruptifs

Le système propulsif apportera la plus grande contribution à la révolution du transport aérien. Cependant, celui-ci étant d'une complexité extrême, il constitue le pilier le plus exigeant à moderniser et dont les orientations prises seront les plus structurantes.



UltraFan, Rolls-Royce

La première étape est la mise en fonctionnement des moteurs à très haut taux de dilution comme l'Ultra High By-pass Ratio (UHBR) de Safran ou l'UltraFan de Rolls-Royce. Ces svstèmes de propulsion représentent la dernière étape d'innovation incrémentale des moteurs à réactions, avec un gain de consommation de 5 à 10%. Leurs performances ne permettront pas d'atteindre la environnementale neutralité

de l'aviation sans un recours massif au biokérosène. Il en est de même pour le Counter Rotating Open Rotor (CROR). Bien qu'affichant des performances supérieures, avec une réduction de 25% à 30% de la consommation, le manque de maturité et le bruit engendré par cette technologie rendent son utilisation peu probable en l'état actuel. Cette technologie avait par ailleurs d'ores et déjà été abandonnée dans les années 80 pour des raisons similaires.

Bien que ces systèmes de propulsion représentent une avancée majeure pour l'industrie, l'accélération de l'agenda environnemental associé à la pandémie de Covid-19 met d'autant plus en avant des solutions marquant une rupture technologique d'autant plus forte. L'électrique peut alors apparaître comme la solution idéale. De nombreux projets ont ainsi émergé pour étudier la faisabilité d'un tel mode de propulsion. Avec l'E-Fan et l'E-Fan X, Airbus vise à acquérir une réelle expérience du vol électrique. Wright Electric, en collaboration avec EasyJet, s'est quant à lui fixé pour ambition de développer un appareil entièrement électrique de plus de 150 places.

Or, ces projets font face à deux problématiques principales. D'une part, il faudrait une révolution du stockage d'électricité pour que cette solution soit généralisée à

l'ensemble des lignes. En effet l'énergie massique des batteries est quatre à six fois plus faible que celle du kérosène. Celles-ci ne s'allégeant pas au cours du trajet, la masse de batteries à emporter serait en réalité encore supérieure en pratique, en comparaison des motorisations aujourd'hui en place. D'autre part, même si un tel avion voyait le jour, son impact écologique demeurerait dépendant du mix énergétique de chaque état. Dans la configuration la moins avantageuse, il en résulterait ainsi un aéronef encore plus polluant qu'en l'état actuel. Il faut également prendre en compte son impact sur le réseau électrique. A l'heure où l'ensemble des moyens de transport s'électrifient, la charge pour les réseaux de production s'alourdira d'autant plus que les méthodes de production durables peinent à se développer.

Malgré l'ensemble de ces la propulsion éléments, électrique tient toute sa place dans l'avion vert. La puissance électrique des aéronefs ne cesse de croître depuis 20 ans, tendance amenée poursuivre. donc primordial de développer de nouveaux modes de production d'électricité, flight



City Airbus, Airbus

d'approvisionner tous ces systèmes de façon la plus économe possible en énergie. Par conséquent, la propulsion 100% électrique apparaît plus adaptée pour des modes de transport intra-urbains et régionaux. Le projet hybride ATEA d'Ascendance Flight Technologie ou entièrement électrique City Airbus en sont les parfaits exemples, soulignant au passage le rôle central de l'aérien dans la mobilité des populations.

Suite à ce constat, les moteurs à hydrogène s'imposent progressivement comme le mode de propulsion le plus prometteur, notamment pour les vols moyen et long-courriers. Qu'il soit consommé via des piles à combustible pour faire fonctionner des moteurs électriques, ou brûlé dans des turboréacteurs, ce carburant tient pour principal avantage une énergie stockée par unité de masse parmi les plus élevées. De plus, son utilisation dans des turbines à gaz ne nécessitera que de faibles modifications dans les moteurs actuels, principalement au niveau de la chambre à combustion. Certains projets comme le moteur AHEAD de la TU Delft explorent même des concepts hybrides kérosène-hydrogène.

L'hydrogène présente cependant deux grandes contraintes, qui nécessiteront un fort investissement pour être résolues. Tout d'abord, l'énergie stockée par unité de volume est faible à température et pression standards. Il doit ainsi être conservé en vol et au sol soit sous haute pression, de 300 à 400 bars, soit à très faible température, de l'ordre de – 250°C. Émergent dès lors des problématiques de masse induite par le stockage, pour les bombonnes ou le système de refroidissement. Ensuite, l'origine de la production fait l'objet de grandes incertitudes. S'il est produit par électrolyse, et que l'énergie électrique pour entraîner la réaction n'est pas d'origine renouvelable, le bilan carbone sera bien plus lourd qu'avec du kérosène classique. Enfin, il est important de prendre en compte l'ensemble des conséquences de ce type de moteur. Bien qu'il ne rejetterait que de l'eau, les effets induits par une forte quantité d'H2O à haute altitude sont encore mal connus. En effet, sa présence sous forme gazeuse et l'augmentation de la taille des traînées rendent son potentiel de réchauffement global (PRG) difficilement mesurable. La présence de cette molécule à haute altitude pourrait également entraîner des réactions chimiques dont l'impact est encore très incertain.

Les biokérosènes, clef de voûte de l'avion vert ?

Les motorisations électriques et à base d'hydrogène suscitent énormément d'espoirs en faveur de la transition verte du secteur. Cependant, la maturité de ces technologies de propulsion alternatives ne sera pas encore suffisante afin de permettre leur utilisation systématique à court et moyen terme. En ajoutant à cela la durée de vie encore conséquente de la flotte actuelle, le besoin en kérosène va rester colossal dans les années à venir. C'est pourquoi les biokérosènes drop-in, i.e. utilisable comme du kérosène « classique », auront une place primordiale dans la décarbonisation du secteur.

Plusieurs processus permettent de produire du biokérosène. Le procédé de Fischer-Tropsch (FT) contribuerait à réduire de 50% les émissions de CO2 pour une production basée sur les déchets municipaux, pouvant même atteindre 90% en utilisant les résidus agricoles ou forestiers. Ce procédé est déjà certifié, bien qu'il ne soit pas suffisamment mature pour un développement à très grande échelle, notamment du fait de difficultés à maintenir un rendement élevé. De plus, il requiert des Capex extrêmement importants. Malgré ces contraintes, de nombreuses entreprises se sont lancées dans son développement et sa production, à l'image de Fulcrum BioEnergy, qui a pour objectif de produire 40 millions de litres à partir de 2020.

Un second procédé, l'Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA), est à l'heure actuelle le plus avancé. En effet son Technology Readiness Level (TRL) est de 6 à 9 en fonction de l'origine des matières premières. Celui-ci promet une réduction des

émissions de CO2 certes plus modeste, de 40% à 70% en utilisant des graisses animales ou des huiles végétales usagées, mais permet d'établir des synergies avec la production de biocarburants routiers. En outre de nombreux tests effectués en conditions réelles ont pu prouver la pertinence de ce carburant et l'industrialisation du procédé a démarré. L'entreprise finlandaise Neste Oil Corporation s'est par exemple fixée comme objectif d'en produire 1 million de tonne par an à partir de 2022. Ce procédé est d'autant plus prometteur qu'il pourrait permettre durant la décennie de produire des biocarburants à partir d'algues ou de levures. Bien qu'il ait levé d'immenses espoirs avant son abandon par Solazyme, de nombreuses entreprises continuent leurs recherches afin de pouvoir en commercialiser.



Source: Neste

D'autres méthodes permettent également de synthétiser du biokérosène, comme la Synthesized Iso-Paraffins (SIP), utilisée pour certains vols Air France entre Paris et Toulouse ou l'Alcoholto-Jet (ATJ). Cependant ces procédés ont une maturité moins avancée que FT ou leur HEFA. et commercialisation semble encore assez lointaine.

Quel que soit le processus de fabrication, les biokérosènes soulèvent enfin des interrogations majeures sur leur impact écologique. Tout d'abord il est à l'heure actuelle impossible de faire voler un avion uniquement avec du biokérosène, le taux maximum de mélange s'élevant jusqu'à 50% pour les procédés FT et HEFA. Ensuite, l'intensité capitalistique de leur production, à laquelle s'ajoute un cours du pétrole historiquement bas, rend leur rentabilité improbable à moyen terme. Il est ainsi estimé que leur prix de vente ne pourra être inférieur à celui du kérosène traditionnel avant au mieux 2035 selon la tendance actuelle, limitant leur potentiel de commercialisation sans soutien public. Enfin, il est primordial de prendre en compte leur impact écologique et social global. Si le développement de cette filière conduit à un accroissement de la déforestation et/ou à une utilisation plus grande de produits chimiques afin de garantir les rendements, les conséquences de leur utilisation pourrait avoir un impact écologique bien plus faible qu'espéré. Il n'est également pas concevable de mettre en concurrence les surfaces de production de biokérosène avec

celles permettant l'alimentation des populations. Pour conclure, le développement de cette énergie pourrait redéfinir certaines dynamiques géopolitiques. Avec une filière de biocarburants entièrement souveraine, les besoins en pétrole importé seraient réduits à leur strict minimum, réduisant d'autant le poids sur la scène internationale des pays exportateurs de pétrole. Ainsi, l'armée américaine s'approvisionne depuis plusieurs années en biokérosène auprès d'Honeywell UOP et s'affirme ainsi comme un de leur principaux partenaires.

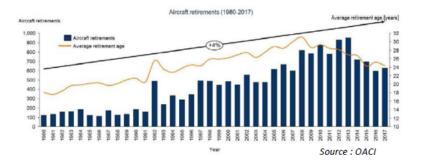
Un processus de production au service de l'efficience environnementale

La production industrielle, de par l'imperfection de ses processus, est source de défaillances environnementales importantes. L'émergence de l'industrie 4.0, à travers notamment l'Internet of Things (IoT) et l'impression 3D, est une voie d'amélioration majeure pour l'ensemble du secteur.

L'impression 3D nourrit de grands espoirs pour la production de tous types de composants. Les imprimantes sont de plus en performantes à l'image de l'Arcam spectra H de GE Additive et paraissent même prêtes à produire en série des pièces aéronautiques. Dès 2018, Stelia Aerospace a réussi à concevoir un démonstrateur de panneau de fuselage métallique avec cette technique dans le cadre du projet DEFACTO. Ce procédé permet alors de produire une surface plus complexe afin de mieux répartir les efforts et de gagner en masse. Depuis, Liebherr-Aerospace a lancé l'assemblage en série de supports pour trains d'atterrissages avant par fabrication additive. Pour une telle technologie, le rapport buy-to-fly, i.e. la quantité de matière achetée sur la quantité de matière qui sera amenée à voler, est proche de 100%. Les gains économiques et écologiques induits sont alors conséquents dès la production, tout en réduisant la consommation de matière première et la masse en vol.

L'intégration de l'IoT à la chaîne de production est également un facteur de performance environnementale nouveau. Par la création d'un "digital twin", le processus de fabrication peut être rationalisé et limiter de manière drastique les défaillances de qualité, par extension des principes du toyotisme.

Enfin, pour réduire l'impact environnemental à zéro, un recyclage total des aéronefs et des pièces détachées est primordial. C'est le service que propose Tarmac Aerosave sur son site de Tarbes-Lourdes-Pyrénées, annonçant un recyclage de près de 92% des appareils. Alors que de nouveaux modes de productions se développent, il est indispensable d'accroître ce taux. D'une part, les aéronefs regorgent de matériaux précieux dont l'utilisation s'étend bien au-delà de l'aéronautique et le nombre d'avions mis hors service est amené à croître considérablement. D'autre part, un tel service est le fruit d'un réel savoir-faire et pourvoyeur d'un nombre conséquent d'emplois directs et indirects.



Cependant pour permettre une valorisation de 100% de la masse des aéronefs, il est nécessaire de prendre en compte dès les premiers stades de développement la fin de vie de nos appareils. C'est une condition sine qua non pour permettre une aviation réellement verte, qui, au-delà de la contrainte apparente, pourra générer une vraie valeur économique et sociale à long terme.

L'intégration de la dimension environnementale dans la gestion des opérations aériennes

Depuis l'avènement de l'aviation commerciale, les opérations aériennes ont toujours eu pour objectif principal la garantie d'un niveau de sécurité maximal. Cette doctrine doit désormais être enrichie d'un second volet : l'optimisation environnementale.

En ce sens, de nouvelles solutions sont en cours de développement afin de rationaliser l'Air Traffic Flow Management (ATFM). C'est l'objectif des programmes américain NextGen et européen SESAR. En se basant sur la quantité croissante de données disponibles et des algorithmes d'intelligence artificielle, il devient possible d'optimiser significativement la gestion du trafic. Une vue globale de celui-ci permet dès lors de gérer au mieux leur trajectoire et ainsi optimiser leur temps de vol.

Combiné avec des solutions permettant l'optimisation en fonction des conditions extérieures comme la météo, l'algorithme OptiFlight de la start-up Safety Line, ou directement le FMS PureFlyt de Thales permettent un gain de consommation de l'ordre de 5 à 10%. Mais surtout, ces solutions pourraient permettre de réduire les contraintes sur le développement de l'avion électrique ou à hydrogène, accélérant sa mise en service. La réduction des émissions sonores et l'amélioration de la qualité de l'air local (LAQ) doivent également être placées au cœur de la modernisation des systèmes d'ATFM.

Enfin, les opérations au sol auront aussi leur place dans le développement de l'avion vert. Que ce soient au niveau du roulage comme l'Electric Green Taxiing System de Safran, permettant aux avions de réduire leur consommation au sol, ou dans la maintenance prédictive et l'impression 3D afin de réduire les déchets, les évolutions impacteront l'ensemble du cycle de l'avion, en vol comme au sol.

insi deux constats doivent être tirés de l'étude des principales évolutions technologiques à venir. D'une part, il n'existe pas, et il n'existera pas, de solution miracle afin de développer l'avion vert. Celui-ci sera développé grâce à la mise en place de systèmes divers afin de répondre à des objectifs tout aussi divers tels que le transport intra-urbain, les vols moyen ou long-courriers. D'autre part, ces systèmes se baseront sur des énergies d'origines nouvelles, et dont l'impact écologique ne pourra être uniquement maîtrisé par le transport aérien. Pour que l'avion vert prenne pleinement son envol, il faut que la source d'où il tire son énergie, électrique, hydrogène ou biokérosène, soit verte également. Les choix de développement devront donc être intégrés dans une démarche globale afin de ne pas engendrer de contre-sens écologiques.

Partie 2 – Une profonde réorganisation du secteur pour assembler le puzzle technologique

a première partie a mis en avant le véritable défi technologique pour mettre en œuvre une aviation neutre en carbone. Cette seconde partie a donc vocation à présenter une organisation à l'échelle internationale qui permettra de définir et mettre en place les grandes orientations techniques en vue d'atteindre un transport aérien profitable économiquement, écologiquement et socialement.

Cette mutation de l'industrie aéronautique doit répondre à trois enjeux structurels :

- <u>Une contrainte sectorielle</u>, celle-ci se trouvant dans la diversité et l'interdépendance mondiale des acteurs. Seule une stratégie coordonnée au niveau mondial, entre industriels et entités publiques, permettra d'atteindre dans les délais impartis les objectifs fixés par l'OACI;
- <u>Une contrainte réglementaire</u>, avec des législations environnementales hétérogènes en fonction des zones économiques, favorisant les effets d'aubaine et distorsions de marché;
- Une contrainte économique, portant sur le financement d'une transition verte à forte intensité capitalistique dans un premier temps et la rentabilité de nouveaux modèles économiques induits par ces mutations dans un second temps.

Au vu de l'ensemble de ces contraintes, l'organisation du secteur apparaît au moins aussi fondamentale que l'innovation technologique pour parvenir à une croissance durable du secteur aérien à partir de 2020. Nos recommandations ont ainsi vocation à répondre aux trois enjeux précités.

1. Coopération sectorielle à l'échelle internationale

De par son prisme international et la variété de ses acteurs, le premier pilier de l'organisation du transport aérien pour atteindre son ambition verte passe indéniablement par une coopération sectorielle à l'échelle internationale.

Coopération intra-sectorielle

Du fait de la complexité technologique d'un aéronef, la chaîne de valeur aéronautique est par essence composée d'une multitude d'industriels, répartis sur l'ensemble du Globe et dépendants des orientations stratégiques de grands décideurs.

Or, la transition verte du transport aérien impose des choix entre des technologies de rupture totalement opposées. A titre d'exemple, le recours par Airbus et Boeing aux motorisations électriques ou à base d'hydrogène impactera directement les motoristes, mais aussi les énergéticiens, exploitants aéroportuaires et structures de coûts des compagnies aériennes. C'est ce que l'on appelle l'effet de sentier. Des choix divergents entre les constructeurs auraient pour conséquences de diluer les investissements et d'engendrer à terme des surcoûts exorbitants mettant en péril le modèle économique de l'aérien. De plus, cela ralentirait massivement la mutation durable du secteur. Il est donc indispensable que les principaux décideurs se concertent afin d'aligner leurs principaux choix technologiques.

Nous proposons ainsi la création d'un "Conseil International pour une Aviation Durable" (CIAD), sur un modèle proche de celui du Conseil pour la Recherche Aéronautique Civile (CORAC) français. Il aura pour mission de parvenir à un consensus sur les grandes orientations technologiques mentionnées dans la première partie.

Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- Composé d'industriels couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur aéronautique, ainsi que de représentants d'organismes institutionnels et de recherche;
- Placé sous l'égide de l'OACI, en charge de sa coordination;
- Le Comité de Protection de l'Environnement en Aviation (CAEP) émettra un avis consultatif indépendant sur chaque décision du CIAD, afin d'évaluer son adéquation avec les objectifs climatiques et les Standards & Recommended Practices (SARPs) de la Convention de Chicago.

Le CIAD aura pour mission de :

- S'accorder sur un agenda commun pour les deux prochaines générations d'appareils (environ 2035 et 2050);
- Établir un consensus autour des grands choix technologiques (structure, moteur...) d'ici 2025 pour la prochaine génération d'avions civils;
- Harmoniser à l'échelle mondiale les réglementations régionales relatives à l'environnement;
- Émettre des recommandations de financement des technologies d'avenir à destination des industriels et organismes publics nationaux et régionaux.

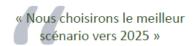
Coopération extra-sectorielle

L'enjeu environnemental mobilise l'ensemble des secteurs de l'économie et le transport aérien est par de multiples aspects lié à d'autres industries.

La reconversion de l'aéronautique doit donc être pensée en y associant les autres filières.

Le développement de certaines technologies peut ainsi faire l'objet de synergies avec d'autres industries, notamment des transports. La filière hydrogène en est l'une des meilleures illustrations, dont la technologie HEFA est également applicable aux véhicules routiers. C'est le sens du plan de 9 milliards d'euros pour la filière hydrogène annoncé par Angela Merkel en juin 2020. Il est donc nécessaire d'encourager des programmes multisectoriels de R&D, afin d'amortir les coûts de recherche sur plusieurs industries, accélérer les calendriers de développement et parvenir à une plus grande efficience opérationnelle.

De plus, une plus grande efficience économique et environnementale des flux humains et matériels passe par une meilleure adaptation de l'offre de transport à la demande, à travers la multimodalité. Dans cette optique, la modernisation de



Stéphane Cueille, Directeur Innovation Safran, 23/7/20

l'infrastructure aéroportuaire doit être une priorité, connectant les différentes solutions de transport entre elles et répondant à une réelle demande citoyenne. Dans cette logique, l'Union Européenne a lancé dans le cadre du plan Horizon 2020 un programme d'investissement afin d'améliorer l'interconnexion entre les divers modes de transport autour des aéroports continentaux.

2. Harmonisation internationale des réglementations environnementales

La législation a toujours accompagné les mutations de l'industrie aérospatiale, que ce soit l'assouplissement progressif des certifications ETOPS ou la libéralisation du marché du transport aérien à partir du "Deregulation Act" de 1978. Le deuxième pilier indispensable à une organisation performante de la transition verte du secteur est ainsi associé au cadre réglementaire. Ses deux caractéristiques principales seront l'harmonisation à l'échelle internationale et une philosophie incitative plutôt que punitive.

Premièrement, afin de renforcer la sécurité du transport aérien et assurer une concurrence équitable entre l'ensemble des acteurs du secteur, l'industrie aéronautique a depuis des décennies favorisé la convergence de son cadre réglementaire sur le plan international, sous l'impulsion notamment de la Federal Aviation Administration (FAA) et de l'European Aviation Safety Agency (EASA). Or, l'engagement écologique à double-vitesse de certains états représente une menace de régionalisation des législations environnementales aéronautiques, avec à la clef un réel risque de distorsion de marché. Seule une coordination des normes légales à l'échelle internationale accompagnera efficacement la transition verte du transport aérien, dans l'esprit du dispositif CORSIA et des directives formulées par le CAEP.

Deuxièmement, dans un cadre réglementaire d'ores et déjà extrêmement contraignant, une accumulation excessive de nouvelles interdictions s'avérerait contre-productive. L'exemple du Renewable Fuel Standard (RFS), qui impose un usage annuel croissant de biocarburants sur le territoire américain est à ce titre particulièrement éloquent. Celui-ci s'est avéré contre-productif, en favorisant l'usage à court terme de biocarburants de piètre qualité. Le Government Accountability Office (GAO) américain a ainsi conclu en 2016 que les mesures encourageant la R&D dans les Sustainable Aviation Fuels (SAF) s'avéraient bien plus efficaces.

Accompagner le chemin vers une aviation neutre : la compensation carbone

L'achèvement d'une croissance neutre en carbone du transport aérien à partir de 2020 sera un processus long, dont les innovations technologiques et opérationnelles seules ne pourront suffire avant plusieurs décennies. De manière provisoire, il est donc nécessaire de compenser les émissions de carbone excédentaires : c'est le rôle des instruments de marché.

L'industrie aéronautique a ainsi été précurseur en devenant le premier secteur à adopter un système global de compensation carbone, intitulé CORSIA. Couvrant 76% des RTKs (Revenue Tonne-Kilometre) de l'aviation internationale civile et militaire, ce mécanisme unifie un "patchwork" d'initiatives régionales indépendantes, afin de compenser 2,5 milliards de tonnes de CO2 d'ici 2035.

Afin d'atteindre les objectifs fixés par l'OACI, deux pistes d'approfondissement de ce système sont à envisager. La première est l'élargissement de la proportion de vols inclus dans le programme. Rassemblant aujourd'hui 88 états, CORSIA doit progressivement accueillir les pays restants, en prévoyant un système provisoire de compensation économique et sociale pour les économies les plus défavorisées. Représentant un tiers des émissions du secteur, les vols nationaux devront également à terme être intégrés au système.

La seconde repose sur une bonne implémentation opérationnelle du système. Il est tout d'abord indispensable d'éviter tout doublon avec un mécanisme régional tel le Système d'Échange de Quotas d'Émission de l'UE (ETS), afin de ne compenser une émission qu'une seule fois. L'harmonisation de la méthode de reporting des émissions de CO2 est également primordiale, pour éviter toute concurrence asymétrique. Alors qu'à titre d'exemple, la France et la Chine ont deux systèmes d'évaluation des émissions différentes, un mécanisme international et indépendant doit être adopté, à l'image du FRED+ de l'IATA.

La transition par le changement des comportements : la généralisation des labels

L'émergence du mouvement de boycott du transport aérien suédois "Flygskam" a mis en exergue la sensibilité croissante du consommateur vis à vis de son empreinte carbone. Si elle représente une menace pour le secteur, cette tendance est aussi une formidable opportunité d'en accélérer la mutation, à travers les modifications de comportement des passagers. Dans cette optique, les labels sont des outils particulièrement puissants, comme ont pu le démontrer les tests de sécurité "Euro NCAP" dans l'automobile.

La généralisation des labels au sein de l'industrie aérospatiale doit ainsi être encouragée à l'ensemble des acteurs. Ceux-ci doivent couvrir l'ensemble des critères ESG, au-delà de la simple question environnementale, et remplir cinq conditions : crédibilité, comparabilité, transparence, clarté et participation.

Trois labels distincts semblent ainsi opportuns de développer :

- Approfondir la famille de normes ISO 14000 en collaboration avec l'Organisation Internationale de Normalisation à destination des constructeurs, équipementiers, motoristes et prestataires de services MRO;
- Démocratiser auprès du grand public l'IATA Environmental Assessment (IEnvA), en en faisant un label pour les compagnies aériennes directement affiché sur le billet du passager;
- Mettre en avant et généraliser l'Airport Carbon Accreditation Program, rassemblant déjà plus de 200 aéroports à travers le monde.

3 - Coopération financière régionale

Comme rappelé en introduction, les gains de productivité environnementaux de l'industrie aéronautique ont essentiellement été motivés par des considérations économiques. L'enjeu du financement constitue ainsi le troisième pilier de l'organisation du secteur autour de sa transition verte. Cette stratégie doit être conçue à travers un double-prisme : le financement de programmes de R&D et la montée en cadence de la chaîne de production dans un premier temps, de même que la rentabilité de la filière face à la remise en cause de son business model dans un second temps.

Financer un effort en R&D sans précédent

Du fait de sa complexité technologique, le transport aérien reste par essence une industrie à haute intensité capitalistique. On estime ainsi que, suivant les programmes, développer un nouvel avion commercial coûte entre 10 et 25 milliards d'euros. Il est donc indispensable de penser aux structures et outils de financement encadrant la R&D des prochaines générations d'appareils.

Les enjeux de propriété intellectuelle et de souveraineté sont inhérents à l'industrie aérospatiale civile et de défense. Des mécanismes de financement nationaux voire régionaux, plutôt qu'internationaux, s'avèrent ainsi plus judicieux. Un coinvestissement en CAPEX à travers des partenariats publics-privés doit ainsi être

encouragé dans chaque aire économique, à l'image du Clean Sky II européen. Des structures plus ciblées, telles Ace Management (consolidation des sous-traitants) et le CORAC (environnement) doivent également accompagner le développement de technologies stratégiques, préalablement identifiées au sein du CIAD. Les synergies entre recherche civile et militaire ont historiquement structuré l'industrie aéronautique. Ces derniers doivent également être associés à l'impératif de financement de la R&D, afin de maîtriser pleinement les innovations technologiques qui définiront l'espace aérien de demain.

Face à l'ampleur du défi technologique, des outils financiers inédits doivent également être implémentés. Le risque associé à de tels programmes R&D induit un surcoût d'endettement majeur pour les sociétés : des instruments tels que les "green bonds" et "transition bonds", largement répandus dans le domaine de l'énergie, de même que le recours à des prêts garantis par l'état ou avantages fiscaux représentent un panier de solutions efficientes à destination des principaux donneurs d'ordre. Les plus petites structures devront quant à elles bénéficier d'apports directs en fonds propres, provenant d'entités similaires à Clean Sky. Enfin, des mesures de marché plus globales, peuvent s'avérer particulièrement efficaces, à l'image des subventions gouvernementales pour le développement des SAF, en compensant l'écart de prix avec les carburants conventionnels à travers un système de "contract for difference" (CFD).

Un modèle économique qui doit s'adapter à la mutation du secteur

Le secteur aéronautique est particulièrement hétérogène, notamment à travers son intensité concurrentielle (constructeurs vs compagnies aériennes) et la taille de ses acteurs (motoristes vs MRO). Par conséquent, répartir judicieusement l'impact de la transition verte sur les business models et structures de coûts tout au long de la chaîne de valeur est primordial.

Une fois les deux prochaines générations d'avions commerciaux développées, les compagnies aériennes tiendront un rôle fondamental afin de rendre effectif l'effort technologique réalisé. Elles devront en effet renouveler massivement leur flotte, représentant une charge financière massive, pour laquelle elles devront être aidées et incitées. La Commission Européenne estime ainsi qu'à l'horizon 2050, 75% de la flotte mondiale sera conforme aux exigences de Clean Sky II. La facture énergétique, qui à titre indicatif s'élevait en 2019 à 20% du chiffre d'affaires d'Air France-KLM, représente également un enjeu majeur. Celle-ci ne doit plus être un obstacle à l'adoption de motorisations alternatives, comme elle l'est aujourd'hui pour les biocarburants.

L'amortissement des coûts de retraitement et de recyclage des aéronefs sur l'ensemble de la chaîne de valeur doit également être repensé. Le dernier propriétaire de l'appareil ne peut pas à lui seul assumer l'ensemble des frais associés, qui doivent être répartis selon le principe de pollueur-payeur tout au long du cycle de vie de l'avion. Une prime à la casse, financée par une éco-participation à l'achat d'un appareil représente ainsi une piste prometteuse. Dans cet esprit, les constructeurs soutiennent progressivement la montée en cadence de la filière recyclage, à l'image d'Airbus et Safran à travers la société Tarmac Aerosave.

Au-delà de ces défis technologiques, stratégiques et organisationnels, un défi RH est également à relever en termes de compétences, créativité et mobilisation dans l'accompagnement de cette évolution majeure.

Conclusion

a prise en compte grandissante de l'enjeu environnemental au sein de la société vient marquer une profonde rupture avec les vecteurs d'innovation traditionnels de l'industrie aéronautique : la suprématie militaire jusqu'à la fin des années 90, auquel a succédé l'impératif économique associé à la croissance exponentielle du trafic aérien civil.

Par conséquent, ce Livre Blanc s'est attaché à présenter une refonte du modèle d'organisation de la filière, avec pour piliers l'innovation technologique durable, la coopération internationale et une juste répartition de la propriété intellectuelle et des bénéfices à l'ensemble de la chaîne de valeur.

Ce cadre doit être pensé au-delà de la simple réduction des émissions sonores et chimiques. L'accès au transport aérien se démocratise à une classe moyenne grandissante, dont les bénéfices économiques et sociaux doivent être mieux partagés à l'échelle du Globe. La mobilisation de l'ensemble des acteurs du transport aérien durant l'épidémie de Covid-19 a ainsi mis en lumière le rôle sociétal fondamental de ce secteur

Bibliographie

- Clean Sky, (2017), Clean Sky 2 Joint Undertaking Development Plan.
- Courteau, R. (2013). Les perspectives d'évolution de l'aviation civile à l'horizon 2040 : préserver l'avance de la France et de l'Europe. Assemblée Nationale
- Direction Générale de l'Aviation Civile. (2019). Rapport Environnement de l'Aviation Civile
- European Aviation Safety Agency. (2019). European Aviation Environmental Report 2019.
- · European Commission. (2019). An Aviation Strategy for Europe.
- Graver, B., Zhang, K., & Rutherford, D. (2019). CO2 emissions from commercial aviation, 2018. The International Council of Clean Transportation
- IATA. (2020). Annual Review 2019.
- International Civil Aviation Organisation. (2019). Destination Green: The Next Chapter. 2019 Environmental Report
- International Civil Aviation Organisation. (2017). Financing Aviation Emissions Reductions. Transforming Global Aviation Collection
- International Civil Aviation Organisation. (2017). Renewable Energy for Aviation.
 Transforming Global Aviation Collection
- ONERA. (2019). La feuille de route scientifique et technologique de l'ONERA
- Senate Commerce, Science, and Transportation Committee. (2016). Our Plan for the Future of Aviation. US Senate







Ophélie Tan

Ophélie is a cocktail of surprises. Growina up multicultural in а environment, Ophélie graduated from Grenoble INP - Phelma as an engineer in Materials Science, leading her to develop her interest in the aerospace industry. In particular, she worked on composite materials development for turbine engines at Safran Ceramics. Today, she is about to graduate from ESSEC Business School while working at Safran Electronics&Defense as a Production Buyer.

Sensitive to innovation and to environmental questions, Ophélie always brings great insights, structure and guidance to projects. She sees herself in the future as an actor of a changing and evolving industry like aerospace. Perfectionist of the team, Ophélie is a real sniper of the smallest mistake or typo.

Dan Haziza

Dan's accent will betray him, he is a product from Toulouse. Along with it for comes his great passion aeronautics from the earliest age. He stepped into a small plane and flew it for the first time at 14 and received his Private Pilot License at the age of 17. Conclusion: Dan lives aeronautics. Dan breathes aeronautics. dreams aeronautics. His passion and curiosity lead him to graduate from IPSA in 2019 as an aerospace and mechanical engineer.

After a year at ESSEC Business School, he is now a Project and Supply Management Office Manager at Woodward Aerospace on NPI programs. In the future, he wishes to bring his contribution and to be a part of the aerospace industry of tomorrow. French and British, Dan is definitely the enthusiast of the team.

Be Green, Keep Flying!

Dan Haziza¹, Ophelie Tan²

Preambule

It is no secret that the number of passengers handled by the airline industry has increased in the past 50 years. Why has it grown so much? The first reason is, by far, the most important one. Propelled by globalisation, flying enables the freedom of movement in a reasonable time, traveling and exploring without any limits. Above all, it is a way to connect with people all around the world. These are the core reasons for the commercial aviation industry's existence. Global carrying capacity has increased due to the increase in low-cost carriers, growth of the global middle class, fulfilling the needs of many future explorers: whether it is for business purposes or leisure activities, it is usually the fastest way to get to places while still being affordable and safe. Travelling by plane has become, this past century, a hobby more than a necessity to move from a location A to a location B. Sharing the airspace is the first consequence of the continuing growth of air traffic, but other major issues are emerging such as satisfying the growing expectations of societies by becoming truly sustainable. On top of that, we are witnessing this year the biggest crisis the aerospace industry has ever faced: the COVID-19. These factors accelerate the opportunity to transform the industry and to renew itself to stay attractive and remain viable.

13

14

Introduction 1 1 The role of institutions and politics 3 1.1 European guidelines: a role model ... 3 1.2 Defence: a specific case 4 2 A synergy between OEMs and their supply chain 5 2.1 Airlines at the front line of customers ... 5 2.2 Airports, more than an infrastructure ... 6 2.3 OEMs, engine of transformation ... 7 3 A step as individuals 10 3.1 A wake-up call: is it so obvious for everyone? 10 3.2 Changing the vision of the industry ... 12

Conclusion

References

Contents

Introduction

The need of a green movement To understand the foundations of the transformation of the aerospace industry, let's first focus on socio-ecological factors. It has been a trendy subject these past years, especially in Europe. If we take France as an example, a study [1] shows that environmental protection has become the top priority for French people (52%) ahead of social system's future (48%) and buying power (43%) when it had always been at the back before. Moreover, every category of population is now concerned about environmental issues, from the youth, which has always been a proactive supporter of the cause, to the elderly more recently but also to all kinds of socio-professional categories. This has been particularly visible in Europe with the green breakthrough at the European Parliament elections in 2019. Minimisation of plastic packaging, reusable products, reduction of meat consumption. . . Pro-environment actions are popping

¹French-British student at ESSEC Business School and graduated from IPSA, dan.haziza@essec.edu
²French student at ESSEC Business School and graduated from Grenoble INP - Phelma, ophelie.tan@essec.edu

up now, but are climate change and environmental issues that new?

Along with the creation of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in 1988, climate change and global warming awareness was born: this organisation warmed that the increase in temperature is due to the greenhouse effect and extreme weather events can happen [2]. Ever since, the IPCC has published multiple assessment reports, each more alarming, indicating a clear human influence on global climate, an increase of greenhouse gas concentrations (Figure 1), rise of surface temperature over the 21st century... [3]

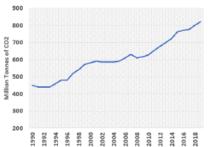


Figure 1. CO₂ emissions from the global fuel burn of commercial airlines [4]

Further, climatic events with environmental consequences have been occurring more and more frequently: oppressive heatwaves, large temperature variations, hurricanes, ice melting... leading to increased rates of extinction in animals and plants in some regions. This has triggered the alarm for a serious need to rethink our way of consuming, as well as the politics to lead a new movement by installing new regulations.

Regarding aviation environmental impacts, CO₂ is the principal greenhouse gas and aviation represents 2% to 3% of the total annual global CO₂ emissions from human activities according to the IPCC. Aviation is "driven by long-term impact from CO₂ emissions and shorter-term impact from non-CO₂ emissions and effects, which include the emis-

sions of water vapour, particles and nitrogen oxides (NOx)." [5] The scientific consensus on the emergency combined with the obvious impacts of CO₂ makes the aviation industry an interesting target to renew itself.

COVID-19: A justification for accelerating the transformation of the industry It is clear that the industry needs to be rebuilt. Up until now the transformation has been slow and the public opinion has not gotten better. The COVID-19 crisis has been the toughest the industry has ever faced. A crisis can be defined by its depth, duration and shape of recovery. On those three criteria, the severity of COVID-19 is unprecedented and has touched every member of the aerospace ecosystem [6]. Even though air cargo activities have been maintained (and even increased on particular routes to transport medical supplies and personal protective equipment), the drop of passenger traffic is estimated at 90% for April-May 2020 in comparison to 2019 at the same period [4]. There is no doubt: the COVID-19 crisis has fractured the industry.

New behaviours have emerged during quarantine all over the world to mitigate the spread of COVID-19. On the professional point of view, ways to adapt to restrictions in this new environment include teleworking and online meetings. Those services aren't new, but they have been highly democratised and have become the new norm in order to keep the economy together. Many of the white-collar populations used to travel for business, which has been completely challenged ever since. Is it really a necessity today? For sure, online meetings do not completely replace face-to-face communication as social and cultural interactions cannot be felt through a laptop screen. However, it has seriously developed the capabilities of adaptation of employees to reach goals even in times of crisis. Regarding leisure travel, mass tourism has been around for decades and has driven growth all over the world. This growth has also created negative environmental effects including overconsumption of natural resources and water pollution. New ways of tourism have emerged, such as sustainable and

responsible tourism. All these new habits have a serious effect on the aviation industry because they make a real fracture with the old vision. However, this trend is to balance with the growing wish to fly further. To ensure that it subsists through and after this crisis, the focus on sustainability is a real opportunity for the aerospace industry to seize.

While many steps have been taken to reduce the carbon footprint of aviation, the industry has taken one step further, boosted by the French Government announcement: the investment of 15 billions of euros to develop a zero-emission aircraft by the end of 2035. This announcement is a way to accelerate a project which had already been going on, but had at the time a deadline in 2050. The Conseil pour la Recherche Aéronautique Civile (CORAC) benefits from this investment to develop new solutions, such as hydrogen powered aircrafts, biofuels etc. Down the road, the objective is to reach a gain of 30% of fuel consumption by 2035, while we only have an average gain of 1% per year today.

How will we make it to this objective? Disruptive innovations are certainly in the radar, but to ensure that the solutions offered by the aviation industry meet the expectations, we need to refer to the fundamental pillars of sustainable development: environment, economy and society. The entire industry needs naturally to work hand-in-hand to achieve this goal. However, they should not be the only ones: there is a need for a global movement at all stages, and different stakeholders can be associated with these challenges. Who are they and how can they contribute to the resurrection of the industry?

The role of institutions and politics

On January 1st, 1914, for the first time in history, a passenger paid for a ticket on the first airline. The price of the one-way ticket was \$400 USD, for 23 minutes of flight. This was possible thanks in part to a contract between authorities and the founder of the airline. 1914 was also the beginning of World War I. During the war, governments

massively invested in the aerospace industry, especially in defence, developing an air force capable of fighting against other countries. Emerging from the war, the desire and need to travel for leisure, work and to transport cargo to support globalisation have helped to democratise commercial and cargo aviation industries. Governments, through their political orientation, have provided a state action plan with focal points to lead the effort of the industry in the same direction. Today, institutions and politics at different scales have a role to play: lead the aerospace industry to a more sustainable future.

National and international politics and institutions such as the International Civil Aviation Organisation (ICAO), the International Air Transport Association (IATA) along with local civil aviation authorities understand the concerns of all stakeholders, including communities and NGOs. They are in charge of overseeing and regulating the industry. For example, if states want to develop greener aviation, they will have to start expanding the availability of clean electricity sources to power aviation activities. Governments, by bringing the whole country's industries together, are able to connect to guide them to common goals.

The establishment of structured cooperation processes among different countries could be guided by big institutions to ensure that measures are well implemented and that regulations are respected. Europe, as an international organisation, has proven its effectiveness fostering collaboration between countries.

1.1 European guidelines: a role model

Airbus, born from a European collaboration In July 1967, governments from the UK, Germany, France and the Netherlands combined forces for the joint development and production of an airplane, reinforcing European cooperation in the aviation industry and to end the disparity between all non-European programs which appeared in terminal decline: this marked the birth of Airbus. Today, Airbus controls approximately 50% of the global com-

mercial aircraft market [7]. The rise of Airbus came from a collaboration between governments, institutions and companies from all countries, sharing their expertise freely and collaboratively. "Airbus's success lies in its political roots. While the original partners in the company recognised that the only way to compete was to consolidate national industries on a regional European basis, consolidation required negotiation and political finesse" [7].

The industry needs this kind of large-scale project where countries and companies work together to achieve a more sustainable aviation.

European perspectives today To take the lead, the European commission and its countries initiated major programs. For instance, the Single European Sky Program [8] led by the Single European Sky Air Traffic Management Research (SESAR) and Eurocontrol, aims to harmonise all European airspace. Improving Air Traffic Management (ATM) performance by modernising and aligning systems requires development and deployment of innovative technological and operational solutions, deployed digitally. This program is contributing to two of the commission's top priorities: the "European Green Deal" and a "Europe fit for the digital age".

The Clean Sky initiative (2008-2024) [9], led by the European Commission in agreement with the industry is another example proving the willingness of Europe to exploit European collaboration. Bringing together small and large companies and research centres drives innovation. Clean Sky 2 objectives are to reduce noise and greenhouse gas emissions by 20% to 30% compared to an aircraft entering into service in 2014. This partnership between public and private stakeholders develops innovative technologies such as lighter components. more aerodynamic structures, engine improvement including electrification and hybridisation. The European Commission's goals are very ambitious for this project: "By 2050, 75% of the world's fleet now in service (or on order) will be replaced by aircraft that can deploy Clean Sky 2 technologies" [10]. These projects and Europe's ability to handle a program such as Airbus provide a convincing argument that Europe should be taken as a model.

1.2 Defence: a specific case

References to authorities and large institutions cannot be made without acknowledging governments' defence policies. The top priorities of defence remain to protect the nation: protection, dissuasion and intervention. That is why the defence industry has always been closely linked with politics.

Defence has always been a driving force for innovation. Finding new and efficient solutions to protect a nation is critical to compete for military supremacy. Wars (especially First and Second World War) have boosted the aviation industry, putting it on the map of transportation democratisation. This great leverage of defence for innovation could be used for a greener aviation. However, this idea must be balanced with the core values of Air Forces, which is to preserve the superiority against enemies. Green aviation is, for sure, a meaningful objective for the military Air Force, as long as the operational power and efficiency is not threatened. If greener alternatives provide an equivalent or greater efficiency to current solutions, it would be a great step for aviation's path to ecological improvements. We recognise a strategic link between commercial and military aviation. Indeed, the more commercial aviation uses eco-friendly technologies or develops greener solutions, the more it will prove their efficiency. Ultimately, it will allow the military to consider implementing solutions to reduce their carbon footprint.

Our point of view In a time of economical and price war, measures taken by the governments can have serious consequences on the countries. As an example, the French Government has established an "ecotax" where passengers would have to pay between 1.50€ to 18€ on all of their flights departing from France (connecting flights excluded). This measure, acknowledged as a step to challenge people's vision on the matter, is certainly a symbolic measure. However, it could be seen as a punishment

more than a way to change people's behaviour: airlines and passengers are directly penalised nationally, reducing the national competitiveness of airlines, while other international airlines do not have to pay. Moreover, the tax is inconsistent throughout the process: the funds obtained are kept by tax entities instead of being directly used to invest in new technologies to reduce aviation's impact. In addition, it seems that consumers themselves are not aware of paying this tax and its usage, as it is not explicitly visible on the flight ticket. Finally, the last inconsistency that we have observed is that whatever the destination we are flying to, the tax remains the same. The non-proportionality between the tax cost and the distance makes it even less relevant. Other countries, such as Sweden or Germany, have started to use ecotaxes, but the fact that there are only a few makes this a limited solution.

2. A synergy between OEMs and their supply chain

While domestic and international policies bring guidance to the aerospace industry, other stakeholders need to play a role alongside them to ensure that everyone goes in the same direction. Airlines, airports, Original Equipment Manufacturers (OEM) and their supply chain play a major role at their own scale. They need to create a sustainable aviation industry together, which need to reflect the 17 Sustainable Development Goals (SDGs) defined by the United Nations (Figure 2). Why is it so important to mention this? Simply because we would like to remind people that sustainable development does not only mean climate action, but it also covers plenty of other factors including "no poverty" and "industry innovation and infrastructure".

Based on Deloitte's 2017 study of the 100 major global aerospace and defence industries (OEMs only) [12], the global aerospace and defence industry revenue reached US\$685.6 billion. The estimated GDP for the aerospace industry was 3.1% of the global economy and employed approximately 1,925,910 people worldwide. This justifies the weight and influence of the aerospace industry in the total economy, showing the crucial role it has



Figure 2. Some of the Sustainable Development Goals defined by the United Nations [11]

to play to achieve goals in sustainable development. There is no doubt that the industry contributes to sustainable development in the factors previously mentioned ("no poverty", "industry innovation and infrastructure"). However, they also act on other factors, by implementing Corporate Social Responsibility (CSR) at the heart of their strategies, showing that becoming greener is a real challenge.

2.1 Airlines at the front line of customers

Airlines have started to develop more eco-responsible actions during recent years. It is indeed a strategic question, as the objective is to find an equilibrium between ensuring economic viability while including a green vision. For an airline, fuel price and consumption are major challenges because fuel accounts for about 30% of total expenses [13]. It is in their own interest to exploit new solutions to reduce it and digitalisation could be one of the solutions.

How can digitalisation be implemented in this context? With aircraft becmoing more autonomous, intelligent and connected, airlines could incorporate the latest hardware and software into their processes to become more efficient, generate more value and better serve its customers. One example is the modernisation of ATM: thanks to sensors and software, there is an uninterrupted flow of real-time information coming from aircraft, updating group operations (e.g. airlines, air traffic control) and pilots on the status of systems, equipment and current weather conditions, to adjust flight routes. Use of real-time data helps maximise fuel efficiency, minimise turbulence and even eliminate the wait for the gate after landing, the biggest fuel-consumption phase (Figure 3) because the plane usually has to move on the tarmac after landing, with engines still running (taxing phase).

Maneuver	Duration [s]	Fuel consumption [kg]	CO emission [g]	NO _x emission [g]
Takeoff	42	103	21	2966
Climb	132	261	157	5872
Descent	240	162	259	1750
Taxiing	1560	353	6636	1659
Total	1974	879	7073	12247

Figure 3. Maneuvers duration, fuel consumption and emissions in the LTO cycle [14]

Solutions exist today: SkyBreathe® developed by Open Airlines and OptiFlight by Safety Line are the most used. Both solutions identify the most relevant saving opportunities and provide a series of recommendations for all stakeholders that could reduce the airline's fuel consumption up to 5%. To do so, big data algorithms, Artificial Intelligence (AI) and machine learning analyse billions of data and combine them with environmental data from actual flight conditions.

Pilots have also an important role to play in reducing the aircraft impact (e.g. fuel, noise pollution) and these software include the ability to teach and compare pilots behaviours for more efficient flying. "Pilots are much more aware of their fuel performance and how they can improve it. They feel engaged in the process." Frances Torres, Director Flight Operations Technical Support & Dispatch at Cebu Pacific. OptiFlight has already proved its effectiveness on Transavia France airline. According to Nathalie Stubler, President of Transavia France, the first test carried out on the fleet enabled a gain up to 90 kg of fuel per flight.

Aside from fuel efficiency, other ways to reduce airlines' environmental impact can be managed. Cabin waste (food, catering waste...) is a material expense, and more importantly adds weight to the aircraft, consuming valuable resources and undermining the sector's sustainability credibility. It has been specifically targeted in the SDGs to cut in-flight global waste by half by 2030. It is essential that airlines and their service providers work collaboratively with regulators to ensure that aviation makes a positive contribution to this SDG target.

While airlines still have a lot to do, it is important to mention that they have already made progress. For instance, more than 250,000 flights have been operated by 9 major airlines using biofuel (biofuel is a fuel that is made from living things or their waste and is less harmful to the environment than other types of fuel, more details on biofuel is mentioned in 2.3). The offsetting of CO₂ emissions is another example.

Airlines need to work closely with airports to ensure their strategies for a greener aviation can be realised. So, what are the roles and responsibilities of airports and what are the opportunities?

2.2 Airports, more than an infrastructure

The total number of passengers has massively increased while airports have roughly kept the same number of runways and taxiways. It is a real problem for airports as they are trying to do more with the same infrastructure to avoid further constructions that could interfere with local residents. Like other players of the industry, airports need to work to improve aviation's reputation in relation to carbon reduction and environmental efficiency.

We know that aircraft in landing-take-off cycle is

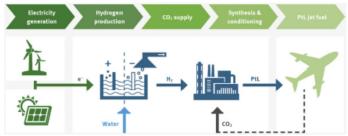


Figure 5. Generic diagram of Power-to-Liquids production [20]

developed.

Hydrogen powered turbine engines have a disadvantage: they emit 2.5 times more water vapor mass than kerosene-burning engines for the same quantity of energy and NOx. The impact of NOx on the environment being still uncertain, it creates debates in the scientific community. Hydrogen can also be used as fuel cell to create electricity to power electric motors, which means no CO₂ or NOx emissions. However, airplane architecture will have to be completely updated. Figure 11 in Appendix is an example of the next generation of regional aircraft powered by hydrogen fuel cell and its benefits in terms ofcarbon footprint reduction

A hybrid concept (hydrogen combustion combined with fuel cell) could be suited on a short-mediumranged aircraft. The fuel cell would be the power source for cruising while hydrogen turbines would provide the thrust required during take-off and landing. The hybrid technology adds complexity in the design and certification of the propulsion system.

Is there one perfect solution? These new technologies and power sources can be compared in order to estimate their climate impact (Figure 6). Hydrogen as a power source (hydrogen turbine or hydrogen fuel cell) has a huge potential to decrease climate impact. However, this is a long-term solution as hydrogen powered aircraft requires much more development in terms of economic production, distribution, storage on aircraft and at airports. New regulations are needed as well as stakeholders'

	Change of in-flight emissions and emission related effects			Climate
	Direct CO2	NOx	Water vapor	reduction potential
Power-To-Liquid fuel	-100%	-0%	-0%	-30-60%
Hydrogen turbine	-100%	-50-80%	+150%	-50-75%
Hydrogen fuel cell	-100%	-100%	+150%	-75-90%

Figure 6. Comparison of climate impact from H2 propulsion and synfuel - compared to kerosene-powered aircraft [9]

approval to ensure safety. Biofuel and synfuel could be the ideal transition solution as they can be used in current aircraft with very limited updates. Biofuel and synfuel are the easiest short-term solution as the step from carbon fuel is much smaller.

Our point of view By summarising all the solutions for new power sources and their pros and cons, we thought it was relevant to present our hypothetical timeline (Figure 7) for these technologies to be implemented.

Having a new fuel available at a reasonable price will be essential for the democratisation of new fuels. A 2019 study from the International Council of Green Aviation mentioned that alternative jet fuel production costs are two to eight times higher than the price of petroleum fuel [23]. Considerable work will have to be performed by the industry to decrease these costs while taking into consideration the green aspects of its production. Governments,

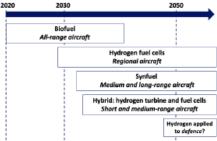


Figure 7. New power sources technologies' implementation timeline, Source: Personal interpretation

companies and future generations will have to work together to design an international fuel network allowing all airlines to be refueled at a reasonable price in every country. The fuel used must therefore meet international specifications. If the aerospace industry developed biofuel, liquid hydrogen or synfuel, it would have to ensure that the supply chain can provide it worldwide. Global development is a key enabling requirement.

Developing new power sources and propulsion systems are one of the paths to be taken to reduce aviation's impact but many other paths exist and should not be overlooked: reducing the aircraft's weight with innovative materials such as composite materials or decreasing drag by improving aircraft's aerodynamics. While these paths show strong evolutions of the industry and are necessary for short-term impact, we believe new power sources and propulsion systems are what will revolutionise the industry on the long-term.

The lifecycle of an aircraft wouldn't be complete without its maintenance. By improving the maintenance services, aircraft will of course enjoy a fuller lifespan, which will increase the efficiency of aircrafts (and so reduce fuel consumption) and minimising the number of equipment checks and replaced [24]. It can be improved by using predictive maintenance with digital twins combined with of course big data. Moreover, additive manufac-

turing is another technology which allows to print on-demand components. Therefore, it can possibly reduce the overall supply chain's carbon footprint and avoid the waste of materials.

Finally, we can't talk about the aerospace industry without mentioning the sub-tier suppliers and new entrants. The role of stakeholders mentioned earlier is to provide a clear roadmap to ensure all sub-tiers will have time to adapt and develop technologies in the framework of the industry's needs. COVID-19 has had a domino effect on the industry: the lower in the chain, the more it was impacted. It is today a matter of surviving the crisis for those small businesses. The whole industry needs to support them to ensure that the expertise provided by these smaller companies will remain safe. It can be applied by investing in R&D to support green initiatives while ensuring the sustainability of the company and its collective knowledge. Sub-tiers and new entrants can also be a source of innovation. High competencies in their areas of expertise gives them the ability to push their concepts even further.

3. A step as individuals

What would the aerospace industry be without the people actually flying? Consumers as individuals are the essence of the transformation! If we notice an increase in commercial air traffic, it is because the consumers felt the need for flying. If we notice today a transition to greener aviation, it is because the consumers' behaviours are changing. It raises some questions of how consumers' behaviour will impact the transformation of the industry. Moreover, we can question ourselves into thinking that the behaviour might be heterogeneous according to cultures, socio-professional categories...

3.1 A wake-up call: is it so obvious for everyone?

The powerful step up of a new pro-environmental behaviour is something obvious in certain cases, for instance for French students like us, as we are constantly concerned with environmental impact questions. Whether at school or in the media, we see the cultural transformation and new ways of consumerism. Is it equally obvious for everyone though? Carbon footprint awareness could be a question of perception. It could be the subjective way of seeing your reality and everyday life. Other factors might play including quality of life and culture.

Sensitivity to environment, a social question?

Disparities exist today over the globe in terms of ecological awareness of individuals and actions to undertake at a higher scale. To understand the phenomenon, the Environmental Performance Index (EPI) [25], developed by Yale University, is a helpful indicator which ranks 180 countries according to 32 specific indicators across 11 categories. Among them are: carbon gas emissions, forest preservation but also criteria related to actions taken by the country such as awareness campaigns, preventive measures etc... It provides an idea of the ecological performance of a country, and its "efforts to meet the targets of the UN Sustainable Development Goals" and to "move society toward a sustainable future". It represents efforts made at the level of a country, which could be correlated with the population's own efforts. Conclusions of this study (Figure 8) show that:



Figure 8. EPI score over the globe, from the highest score (dark blue) to the lowest one (light blue) [25]

 "Good policy results are associated with wealth (GDP per capita), meaning that economic prosperity makes it possible for nations to invest in policies and programs that lead to desirable outcomes." [25] Thus, developed

- and rich countries are at the top of the ranking.
- Priority is given to economic prosperity in the developing countries, showing that environmental issues are in the background. China (ranked at #120) and India (ranked at #168) are perfect examples of this situation. Knowing that China has become the country producing the most tourists worldwide, with the largest international tourism expenditure [26], it justifies that statement and shows that climate change and actions to reduce it is definitely not a priority.
- Some countries, like Nepal and Afghanistan, face challenges such as civil unrest, for which "their low scores can almost all be attributed to weak governance." [25]

Therefore, we can say that yes, it might be a social question to be sensitive to environmental issues because people with higher socio-economic status could afford alternative solutions for the environment while it might not be a priority for those with fewer resources. Low-cost carriers' worldwide market share has increased from 15.7% in 2006 to 31% in 2019 [27]. This has helped people with fewer financial resources to travel and discover the world. Thus, low-cost carriers' prices have been a factor of increase of air traffic. Is it compatible to travel with low-cost airlines while reducing carbon footprint? One could question this, because the price structure is not oriented to reduce its carbon emissions, or to invest in greener fuel (which we have seen can be very pricy so would inflate prices).

However, the correlation between environmental commitment and level of development of countries can have its limits. The Unites States of America, for example, is only ranked at the #24 of the EPI while still being a major power in the world. It can be justified by the fact that ecological decisions are not part of their political program, and maybe culture has its part in this.

A cultural approach The behaviour of people can be shaped by "institutional features, environmentrelated legislation, and cultural and psychological aspects" [28]. Some countries have very permissive legislation about ecology towards their citizens, therefore citizens are not really encouraged to have an environmental-friendly attitude. Those from countries with more ecological-minded legislation will more likely adopt eco-habits in their everyday life. The level of public knowledge is also a significant factor. Indeed, raising awareness on the effects of climate change can consequently lead to a positive attitude towards ecology (as it is seen in Northern European countries in contrast with China where there is rarely any awareness campaign).

Moreover, national culture is another important factor playing in the consumers' attitude. In particular, "highly individualistic societies exert the lower levels of public concern on the environmental impacts" [29]. If we take the example of China, "materialism, individualism growth and decline of collectivist values" [30] are minimising citizens' actions for the environment as a collective action.

Differences between countries and their level of acceptance is a significant challenge to overcome to make a real change in the industry by bringing people and companies together. Moreover, the industry faces strong negative opinions, especially in the media, when the facts and figures show otherwise.

3.2 Changing the vision of the industry

The reality of the aerospace industry's efforts Generally speaking, the aviation industry does not appear as a green transportation mode. It is understandable and can be justified through numerous statistics of aviation's impact on the environment that we can find online. It is usually the image conveyed by the media, and it is a thought well-rooted in people's minds. However, it is necessary to put some numbers in perspective at a higher scale (Figure 9). If we compare with other transportation modes, aviation is responsible for "12% of CO₂ emissions from all transports sources, compared to 74% from road transports" [13], as well as having a high rate of occupancy at an average of 82% [13], which is a lot more than the other

forms of transports. Air transportation is the most convenient mode of transportation for high-value commodities (time-sensitive or perishable) and for long distances. Thus, around "80% of aviation CO₂ emissions are emitted from flights over 1,500km, for which there is no practical alternative mode of transport." [13] Therefore, air transportation should not be compared to road or train transportation as they are complementary modes of transport, not competitors.

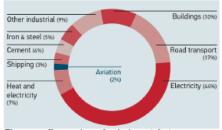


Figure 9. Proportion of aviation global energy-related CO₂ emissions (land use change emissions from agriculture or forestry excluded)[13]

Furthermore, it is important to highlight aviation's efforts throughout the years, showing a real responsibility towards carbon footprints' reduction. It has made significant gains in fuel efficiency (around 2.3% per year since 2009) driven by innovation and operations improvements, allowing a CO₂ reduction of 50% compared to a similar flight back in 1990 [31]! Moreover, jet aircraft are "over 80% more fuel efficient per seat kilometer than the first jets in the 1960s." How come these information do not reach the population and change their minds about aviation? It shows somehow that even if the innovations have been achieved, communication is key by telling stories to recall people the essence of aviation and its benefits.

Educating people, a start "Flygskam"... If this does not ring a bell, it is a popular trend on social media in Sweden created in late 2018, literally meaning the shame of flying. It is a way to point

a finger at the people abusing of traveling and generating CO2 emissions. It has had a serious effect across Europe, especially in Sweden, native country of Greta Thunberg, where passenger air traffic on domestic flights has declined by 10% from 2017 to 2019 [32]. This growing flight-shaming has nourished the image made up by people that flying is bad and made them forget the real use of aviation: sharing liberty, interests and adventures. Instead, it has only made people go against each other, blaming one another for their own personal choices. Media-bashing plays a part as well in the change of people's opinions about aviation. Media tend to present statistics about aviation without putting numbers in perspective, or mentioning the benefits of aviation... which lead to influence the moral and social norms against the core desire of air travel.

Our point of view Through it all, we believe that educating people and spreading the real values and aims of aviation is what will make them change their minds and anchor in the societies once and for all. Through school, cultural education and activities or initiations, students can fully absorb the knowledge and values of aviation. Moreover, what better way to tackle a challenge than by using current tools? We have mentioned it before, but digitalisation really is the engine for transformation. It is known that people like tracking things, putting numbers and statistics on everything. There is a culture of knowing the origins of products and the use of it ever since digitalisation enabled it. In the aviation sector, a similar approach could be used and could help educating people: as passengers ourselves, we would like to see our real impact on the environment on each flight. As a suggestion, we could see a mobile application created, coordinated between airports, airlines and manufacturers, where we could have, of course, on-time flight information, but also a carbon footprint section. It could provide information on what impact our flight is going to have at the passenger level, a comparative study compared to other modes of transportation, and its impact on the whole ecosystem, showing raw data. Finally, it could also suggest new one-click

solutions to offset the carbon emissions made by the passenger, in partnership with associations. That way, it will highly enhance the customer experience which is very valuable nowadays, but it will also bring transparency to customers, allowing them to sit back, relax and enjoy their flight.

Conclusion

When we first discovered the subject of this competition, we thought: "Okay, what does it mean to be green? What does it mean to keep flying?" The first step for us was to put down on paper everything that came through our minds related to this sentence. Once everything was written, we realised that there were tons of paths or subjects we could cover, endless possibilities to associate ideas. However, two major ideas struck us the most. First, identifying the stakeholders in this issue would help to identify the key statements of a greener aviation: institutions and politics, airlines, airports, aircraft manufacturers and its supply chain, but also and most importantly the individuals themselves (Figure 10). Second, considering a greener aviation does not only mean reducing carbon emissions, but seeing the industry as a whole ecosystem and working on the pillars of sustainable development.

The motivation of the younger generation supported by the experienced ones can open up to new aerospace revolutions in the interest of all human beings and ecological and economical preservation. The "clean plane" is a building block in the construction of a resilient carbon-neutral world. It includes operational performance improvement, implementing new technologies, development of sustainable sources of energy. Working as a whole and bringing our forces together will make us "be green and keep flying"!

References

- [1] Brice Teinturier and Laurène Boisson. Fractures francaises 2019. Le Monde, Fondation Jean Jaures, Institut Montaigne, 2019.
- [2] Harcene Arezki. Climat, mensonges et propagande. Thierry Souccar Editions, 2010.
- [3] R.K. Pachauri Core Writing Team and L.A. Meyer (eds.). Climate change 2014: Synthesis report. contribution of working groups i, ii and iii to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. IPCC, 2015.
- [4] https://www.iata.org/. Air passenger market analysis, may 2020, 2020. Consulted on June 30th 2020.
- [5] D.S. Lee, G. Pitari, V. Grewe, and al. Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation. Atmospheric Environment, 2009.
- [6] Gael Le Bris and al. Preparing airports to the post-covid-19 era, 2020. Airport Think Tank of ENAC Alumni.
- [7] https://www.ft.com/. Airbus the european model, 2014. FT Magazine. S. Gordon. Consulted on July 22nd 2020.
- [8] SESAR Joint Undertaking. Digital european sky, blueprint, 2019.
- [9] Jerome Bouchard, Geoff Murray, and Lino Stoessel. Hydrogen-powered aviation, a factbased study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050. Clean Sky 2 JU and FCH 2 JU, 2020.
- [10] https://www.un.org/. About the sustainable development goals. FT Magazine. S. Gordon. Consulted on July 22nd 2020.
- [11] Eurocontrol European Environment Agency, European Union Aviation Safety Agency. European aviation environmental report 2019, 2020.
- [12] Robin S. Lineberger and Aijaz Hussain. 2018 global aerospace and defense industry financial performance study, 2018.

- [13] https://www.atag.org/. Facts and figures, 2020. Aviation: Benefits Beyond Borders, IATA Economics, Airbus, Boeing, ATAG Beginner's Guide to Aviation Efficiency, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), BBC News, Qantas. Consulted on July 15th 2020.
- [14] P. Glowacki and M. Kawalec. Aircraft emissions during various flight phases. Combustion Engines, 162(3), 229-240. ISSN 2300-9896, 2015.
- [15] AOA The Voice of UK Airports Clinton Climate Initiative, Sustainable Aviation. Aircraft on the ground co2 reduction programme.
- [16] https://www.airportcarbonaccreditation.org/. Accredited airports across the world. Consulted on July 22nd 2020.
- [17] Emily Derrick. Airbus starts hamburg deliveries using sustainable aviation fuel. Simple Flying, 2020.
- [18] https://www.airbus.com/. Consulted on June 17th 2020.
- [19] Henri Trintignac. Le moteur thermique comparé au moteur électrique, enjeux et contraintes. Colloque Chimie et Transports, 2013.
- [20] Patrick Schmidt and Werner Weindorf. Powerto-liquids, potentials and perspectives for the future supply of renewable aviation fuel. German Environmental Agency, 2016.
- [21] José Escobar and al. Biofuels: Environment, technology and food security. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 13, Issues 6–7, 2009.
- [22] Ilker Yilmaz and al. Investigation of hydrogen usage in aviation industry. Energy Conversion and Management, Volume 63, 2012.
- [23] Nikita Pavlenko, Stephanie Searle, and Adam Christensen. The cost of supporting alternative jet fuels in the european union. The International Council on Clean Transportation, 2019.
- [24] Jerome Bouchard, Geoff Murray, and Lino Stoessel. How customer demands and digitalization will transform aerospace over the decade. Forbes Business, 2018.

- [25] https://epi.yale.edu. 2020 epi results, 2020. A. Wendling, Zachary and W. Emerson, John and de Sherbinin, Alex and C. Esty, Daniel. Consulted on July 12th 2020.
- [26] Fernando Alonso, Julia Baunemann, Michel Julian, Lili Kfoury, and Javier Ruescas. International tourism highlights, 2019 edition. UNWTO, 2009.
- [27] OAG; Airline Leader; ICAO. Low cost carriers' worldwide market share from 2007 to 2019, 2020. Statista.
- [28] Bruno Chiarinia, Antonella D'Agostinob, Elisabetta Marzanoc, and Andrea Regolib. The perception of air pollution and noise in urban environments: A subjective indicator across european countries. *Journal of Environmental Management*, 263 (2020) 110272, 2020.
- [29] Lamei Hea and Viachaslau Filimonaub. The effect of national culture on pro-environmental behavioural intentions of tourists in the uk and china. *Tourism Management Perspectives*, 35 (2020) 100716, 2020.
- [30] Xin Jiang, Zhihua Ding, Xiuping Li, Jing Sun, Yanling Jiang, Rong Liu, Dianwen Wang, Yawei Wang, and Wenbin Sun. How cultural values and anticipated guilt matter in chinese residents' intention of low carbon consuming behavior. *Journal of a Cleaner Production*, 246 (2020) 119069, 2020.
- [31] https://www.iata.org/. Carbon emissions per passenger decrease more than 50% since 1990, 2019. Press release No 72. Consulted on June 25th 2020.
- [32] https://www.swedavia.se. Trafikstatistik på swedavias flygplatser, 2020. Consulted on June 25th 2020.



Figure 10. Stakeholders' collaboration to "Be Green and Keep Flying" as a global project

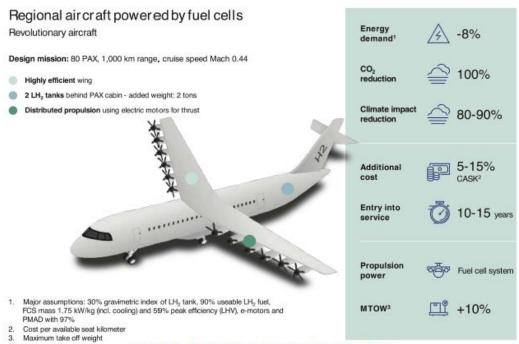


Figure 11. Regional aircraft powered by fuel cells [9]





Simon Mozziconacci graduated in 2020 with a master's degree in Public Policy from the Sciences Po Paris School of Public Affairs. He has worked in the public and private sectors. His latest position was an internship in the Public Affairs Department of Airbus in Paris. He is currently preparing for the entrance exam of the Ecole nationale d'administration.

Simon's passion lies in the aerospace industry and the energy sector. He is convinced that these fields' leaders and stakeholders play a key role in promoting peace and reaching prosperity across the globe.

François-Xavier Le Quintrec graduated this summer from ESSEC Business School. He also studied at the French Military Academy of Saint-Cyr during one year as part of a dual degree program and holds a master degree in public policy from the School of Public Affairs of SciencesPo Paris. He has working experiences in the aerospace industry and the defense industry both in France and abroad.



Troisième prix

Le réenchantement de l'aviation

Plan de vol

Environnement, jeunesse, aviation : un triangle d'incompatibilité ?

I/ La genèse d'un malentendu moderne : l'avion, les émissions de carbone et la société de consommation

A/ Les engagements environnementaux du transport aérien ont dans les faits connu un renforcement et un renouvellement face à la croissance du trafic aérien

B/ Pourtant l'avion, victime d'un malentendu procédant du discours sur le "flygskam", est désigné comme le bouc-émissaire des dérives de la globalisation et du réchauffement climatique

C/ La diffusion d'un discours fallacieux sur les conséquences environnementales du transport aérien risque de s'installer durablement dans l'opinion publique

II/ Renverser la perspective : la science et le rêve

A/ Fidèle à ses valeurs, l'aviation a été pionnière dans le développement d'une stratégie environnementale grâce à des efforts en R&D qui dessinent sa trajectoire de décarbonation

B/ Au-delà de la maîtrise du savoir-faire, le faire-savoir est l'enjeu de communication que le secteur n'a pas su mettre en valeur en matière environnementale

C/ L'aviation du futur devra concilier les défis scientifiques et les ambitions climatiques sans tomber dans l'écueil du "greenwashing"

III/ Réenchanter le monde, réenchanter l'aviation

A/ Face au désenchantement du monde, l'avion, maillon du tissu social et culturel partage une mission de paix et de prospérité commune à d'autres secteurs vitaux pour les sociétés

B/ Les acteurs du transport aérien doivent développer une communication qui répond avec la même énergie que ses détracteurs, sur leur terrain tout en renforçant "l'aile qui gagne"

C/ Renouer avec l'épopée, éviter la tragédie

* * *

Environnement, jeunesse et aviation : un triangle d'incompatibilité ?

Aujourd'hui, l'avion divise la société alors qu'il relie les cultures. L'avion est devenu le bouc-émissaire d'un capitalisme débridé alors qu'il est le symbole du progrès technologique et humain. L'avion cloué au sol par l'épidémie de la Covid-19 devrait le rester dans le "monde d'après". Il est semblable à l'Albatros, cet oiseau majestueux : "Exilé sur le sol au milieu des huées, / Ses ailes de géant l'empêchent de marcher." Il dérange, il est incompris. Cette incompréhension est portée dans le discours de la nouvelle génération occidentale qui condamne l'avion et le bannit de son projet de société idéale. Cette dernière a toujours vécu avec la possibilité de voler et n'a pas conscience du défi scientifique que cela représente.

Si l'aviation a deux composantes, les ailes et le fuselage, sa transition écologique doit en effet avoir deux volets : la science et l'imaginaire. Ces deux aspects sont consubstantiels à l'aviation dont le rêve a précédé, comme dans d'autres nombreux domaines de progrès, la réalisation scientifique et technologique. C'est pourquoi se passer du rêve peut avoir des conséquences concrètes sur le volet scientifique, si l'on pense à la filière, en matière d'attractivité de l'emploi. Mais se passer de la science dans le défi que représente le développement de l'avion du futur, c'est-à-dire ne pas s'en servir pour répondre à l'exigence environnementale, fera de l'avion un lcare moderne qui s'est brûlé les ailes ne d'avoir pas su s'adapter à la chaleur solaire - au réchauffement climatique pourrait-on dire. Ainsi le projet d'avion du futur, défi scientifique et technologique majeur, pour être en phase avec les exigences climatiques, doit à la fois prendre appui sur les progrès scientifiques et industriels pour rassembler et poursuivre le rêve initial de l'aviation.

Pour autant, un triangle d'incompatibilité semble, dans notre période, se dessiner dans les pays occidentaux entre la lutte contre le changement climatique où s'engagent de façon passionnée la nouvelle génération et la réalité scientifique de la pollution engendrée par le trafic aérien.

La perspective que nous proposons est que pour sauver l'avion, il faut sauver ce qui lui permet de nous faire voler, de nous faire rêver, un carburant totalement neutre en carbone : l'imaginaire.

Les préoccupations environnementales sont à la fois un casus belli contre l'aviation et un prétexte pour dénoncer un capitalisme débridé symbolisé par l'avion (I). Malgré les progrès technologiques incontestables, le secteur aérien semble avoir perdu la bataille de la communication (II). Cela conduit à poser le problème en termes non technologiques afin de proposer un nouveau storytelling fondateur et fédérateur (III).

* * *

I. La genèse d'un malentendu moderne : l'avion, les émissions de carbone et la société de consommation

Le rêve aérien est aujourd'hui mis en péril : "ne volez plus, l'avion pollue". La nouvelle génération condamne, non sans raison, l'aviation dans un mouvement qui l'associe à cette mondialisation sans conscience qui sacrifie le respect de l'environnement sur l'autel de la croissance. L'aviation ne fait plus partie de leur monde. L'urgence écologique ébranle les deux piliers de l'aéronautique. On n'adhère plus au rêve et on dénonce la machine. En résumé, l'injonction, "be green, keep flying" - que l'on pourrait rapprocher du "keep calm, carry on" britannique d'avant-guerre - serait une injonction paradoxale. Alors que l'épidémie de Covid-19 cloue les avions au sol et fige les aéroports des voix s'élèvent et imaginent un monde sans avions.

A. Les engagements environnementaux du transport aérien ont dans les faits connu un renforcement et un renouvellement face à la croissance du trafic aérien

Si la question de la pollution engendrée par le transport aérien soulève des débats passionnés, il convient de rappeler que le trafic aérien représente 2,8% des émissions de CO2 du secteur des transports en 2016 selon l'inventaire national des émissions au format CCNUCC (Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques) pour le périmètre Kyoto Protocol. La consommation de carburant pour l'aviation ("jet") des dernières générations d'avions est entre 2 et 3 litres aux 100 km par passager. De nombreux calculateurs permettent d'éclairer de façon transparente les citoyens². La Direction générale de l'aviation civile (DGAC) propose un calculateur "TARMAAC" développé en lien avec le CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique) dont la fiabilité a été jugée sérieuse. Pour un trajet courant, au départ de Paris-Orly à destination d'Ajaccio-Napoléon Bonaparte, sur une distance de 908km, la consommation est de 35,2 L de

CO2 dont la méthodologie n'est pas justifiée scientifiquement.

57

² Aujourd'hui le calcul des émissions de CO2 est fiable mais il convient de souligner qu'il diffère selon de nombreux indicateurs (type d'avions, taux de remplissage, aspects météorologiques, etc.) Mais il est plus difficile d'évaluer l'impact global (les émissions de CO2 ainsi que celles de NOx, HC, CO, carbones suies et SOx). Or certains calculateurs appliquent des multiplicateurs des émissions de

kérosène par passager équivalent, soit 3,9L aux 100 km³, ce qui est équivalent à la consommation d'une citadine hybride de type Honda Jazz.

Les émissions de CO2 par passager et par kilomètre ont été réduites de moitié durant les trente dernières années grâce aux avancées en matière de recherche et développement (R&D). Pour autant, face aux perspectives long terme de croissance du trafic aérien, avec des révisions à la baisse pour les deux ou trois prochaines années au moins en raison de la crise du Covid-19, selon les dernières prévisions de l'IATA⁴, et face aux exigences exprimées par la société, les États ont amplifié leurs engagements en faveur de la décarbonation du transport aérien. En France, la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC), introduite par la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), constitue la feuille de route dans la lutte contre le changement climatique en orientant les actions à mettre en œuvre dans l'ensemble des secteurs d'activité pour atteindre une économie décarbonée et en définissant la trajectoire de réduction des émissions de GES jusqu'à 2050. L'ambition majeure est "d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050". A l'échelle européenne, la Commission européenne a publié une communication "Un pacte vert pour l'Europe" le 11 décembre 2019 fixant les orientations et les actions à mener en faveur de la transition énergétique, précisée par la communication relative à la "stratégie industrielle pour l'Europe" du 10 mars 2020 intégrant pleinement l'objectif de "la transition verte" pour la transformation de l'industrie. En mai 2020, l'initiative conjointe technologique CleanSky a dévoilé un nouvel agenda de recherche et innovation stratégique (Strategic research and innovation agenda - SRIA). Ce dernier fixe l'objectif d'atteindre, via un "Partenariat européen sur l'aviation propre", la neutralité climat pour 2050 et non simplement la neutralité carbone. Enfin, à l'échelle internationale, au sein de l'Organisation de l'aviation civile internationale, agence spécialisée de l'ONU, des objectifs technologiques, réglementaires et fiscaux ont été fixés à long terme, notamment à travers le mécanisme de compensation carbone CORSIA, qui s'ajoute à celui existant au sein de l'Union européenne (EU-ETS).

-

³ Selon l'éco-calculateur de la DGAC, URL : <u>https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr</u>

⁴ Le 13 mai 2019 l'IATA a publié un communiqué « Ne pas rendre la lente reprise encore plus difficile par des mesures de quarantaine » dessinant plusieurs scenarii de reprise du trafic aérien à la suite de la crise du Covid-19, URL:

https://www.iata.org/contentassets/32d769be70ad41939e20219d1a21670f/2020-05-13-03-fr.pdf

De son côté, le secteur aéronautique a fixé volontairement trois objectifs (IATA): 1/ D'ici 2020, amélioration de la consommation par passager par kilomètre de 1.5% par an ; 2/ A partir de 2020, stabilisation des émissions mondiales de l'aviation ; 3/ A partir de 2050, réduction des émissions de CO2 de 50% par rapport au niveau de 2005.

Cependant, les émissions gazeuses liées au trafic aérien vont augmenter à la faveur de la croissance du trafic. Selon le Global Market Forecast (GMF), une analyse prospective réalisée par Airbus⁵, la croissance du trafic aérien devait être de 4.3% par an sur les vingt prochaines années ce qui aurait représenté une flotte mondiale de 47 680 avions (8 470 en remplacement, 39 210 nouveaux). Le renouvellement de la flotte, grâce aux progrès réalisés en matière d'efficacité énergétique par les dernières générations d'avions contribuerait à la décarbonation du transport aérien. Les effets de la crise liée à la pandémie de Covid-19 sur la réduction du trafic aérien à moyen-terme, s'ils ne sont pas pleinement évalués à l'heure où ces lignes sont écrites à cause du risque d'une "seconde vague", laissent penser qu'il n'y aura pas de retour à la normale avant 2023. C'est en tout cas ce que révèle l'étude de l'IATA parue en mai 2020⁶ qui prévoit, dans un « scénario de base » qu'en 2021 « le trafic mondial de passagers (RPK) sera de 24 % inférieur au niveau de 2019 » d'une part et que d'ici 2025 « les RPK mondiaux se situent à 10 % au-dessous des prévisions précédentes » d'autre part. Il est à noter que dans le cadre des plans de relance, le soutien apporté par l'État aux compagnies aériennes en particulier et aux autres secteurs industriels en général, est conditionné par leur engagement environnemental, comme cela a été le cas pour Air France'.

Ainsi, malgré les efforts réalisés par le secteur pour réduire les émissions de gaz à effet de serre du transport aérien, la croissance du trafic aérien à moyen et long terme aura un effet démultiplicateur. C'est pourquoi, des engagements ont été pris au niveau politique et réglementaire pour encadrer les émissions gazeuses liées au trafic aérien.

La présentation factuelle, à partir de données scientifiques et objectives, des émissions du transport aérien et des défis auxquels il est confronté dans un cadre international exigeant est un point de départ nécessaire

⁵ Global Market Forecast, 2019-2038, Airbus URL: http://gmf.airbus.com

LATA, op. cit.

⁷ Le ministre de l'Économie et des Finances, Bruno Le Maire a déclaré que la condition d'attribution des aides d'État à Air France est qu'elle "devienne la compagnie aérienne la plus respectueuse de l'environnement de la planète".

pour comprendre la diffusion d'un discours et d'une pratique qui, pour limiter ses émissions, préfère ne plus prendre l'avion, pire en avoir honte.

B. L'avion, victime d'un malentendu procédant du discours sur le "flygskam", est désigné comme le bouc-émissaire des dérives de la globalisation et du réchauffement climatique

Parallèlement aux engagements pris par la filière aéronautique et au moment où les avions sont cloués au sol par l'épidémie de Covid-19 des voix s'élèvent et imaginent un monde sans avions. Ce mouvement procède d'une vision punitive de l'écologie visant à culpabiliser le transport aérien qui serait le symbole des dérives de la mondialisation en matière environnementale.

Ce discours trouve son origine dans un mouvement parti des pays scandinaves dénonçant la "honte de prendre l'avion" (flygskam en suédois ou lentohapea en finlandais). Selon l'étude de la Chaire Pégase "Les Français et l'impact environnemental du transport aérien : entre mythes et réalités" (février 2020)⁸, la diffusion du flygskam a bénéficié principalement des relais sur les réseaux sociaux lié au poids médiatique de la jeune activiste suédoise Greta Thunberg. L'étude rappelle que les suédois volent 4 à 5 fois plus que la moyenne mondiale avec 2,35 vols par habitant et par an en moyenne.

A l'origine, le mouvement semble répondre à une préoccupation propre aux pays scandinaves liée à la répartition par secteur des émissions de carbone. En Suède par exemple, selon les données de la Banque mondiale, les émissions de CO₂ par tonne par habitant ont diminué entre 1980 passant de 8,63 à 4,48 en 2014 tandis que le pourcentage attribuable aux transports a augmenté, sur la même période, passant de 22,83% à 53,29%. Pour autant, aux États-Unis, "le transport aérien ne représente pas une grande part de l'empreinte carbone de l'Américain moyen. En fait, environ la moitié des Américains ne prennent généralement pas

60

Chiambaretto P., Mayenc E., Chappert H., Engsig J., Fernandez A-S., Le Roy F., Joly C. (2020). « Les français et l'impact environnemental du transport aérien : entre mythes et réalités », Les Carnets de la Chaire Pégase, n°1

⁹ A partir des données de la Banque mondiale et de l'outil "Perspective monde" de l'Université de Sherbrooke, URL: Suède - Émissions de CO2

l'avion du tout. Un autre tiers prend l'avion jusqu'à cinq fois par an, et est responsable d'environ un tiers de toutes les émissions. Cela signifie que la plupart des Américains devraient se préoccuper davantage des émissions provenant de la conduite automobile ou du chauffage ou de la climatisation de leurs maisons" selon un article du New York Times sur la pertinence de la réappropriation du discours du flygskam aux États-Unis 10. Or selon l'International Council on Clean Transportation, dans son étude sur les émissions de CO2 de l'aviation commerciale en 2018¹¹, les États-Unis représentent 24% des émissions total de CO2 liées au transport aérien devant la Chine 13%, le Royaume-Uni 4% et la France 2,6%. Le discours du flygskam semble ainsi répondre à une préoccupation avant tout liée à un contexte national. Sa généralisation à d'autres pays avant une répartition différente des émissions de carbone par secteur s'est faite de façon spontanée, par les réseaux sociaux en lien avec le phénomène médiatique Greta Thunberg, entraînant un malentendu. La réappropriation généralisée de ce discours a transformé l'avion en symbole des dérives de la mondialisation. La rapidité et la facilité de la réappropriation de ce engagements discours procèdent de la méconnaissance des environnementaux de la filière et d'une vision punitive de l'écologie. En effet, l'opinion méconnaît à la fois les avancées scientifiques et technologiques menées par le secteur aéronautique en faveur de la réduction des émissions de CO2 et les engagements pris au niveau international.

C'est en tout cas ce que révèlent les travaux de la Chaire Pégase pour la France selon lesquels, dans leur échantillon de 1018 répondants "plus de 80% des Français pensent que le transport aérien pollue autant ou plus que les secteurs de l'habillement et des activités liées à Internet" alors que "les scientifiques considèrent que le secteur aérien pollue globalement moins". De plus, l'opinion publique française témoigne de sa "connaissance modérée" (rapport op. cit.) des engagements du secteur: "plus de 70% des répondants surestiment la consommation des nouvelles générations d'avions (qui est comprise entre 2 et 3 litres par passager pour 100 kilomètres parcourus)", un quart évoquant une consommation de plus de 10 litres par passager pour 100 kilomètres.

.

¹⁰ How Guilty Should You Feel About Flying, Hiroko Tabuchi et Nadja Popovich, New York Times, 17 octobre 2019

^{11 &}quot;CO2 emissions from commercial aviation, 2018" ICCT Working paper, 19 octobre 2019, B. Graver, K. Zhang, D. Rutherford,

Par ailleurs, si plusieurs visions de l'écologie coexistent - non sans concurrence -, la vision punitive, la plus visible dans les media et la plus radicale, désigne l'avion comme un bouc-émissaire. En effet, au sens de René Girard (La Violence et le Sacré, 1972), l'avion serait à la fois le coupable du réchauffement climatique et la victime payant pour tous les autres. Dans ce cadre d'idées, de nombreuses propositions de loi relatives au transport aérien mettent en péril la libre circulation des personnes. Par exemple, en France, deux idées ont récemment recu un large écho dans le débat public. D'une part, l'instauration d'un "quota carbone individuel pour limiter l'usage de l'avion" (proposition de loi n°3164 présentée par les députés François Ruffin et Delphine Batho le 30 juin 2020) allant jusqu'à juger de la pertinence ou non des voyages en avion ("Une grande partie des vols sont non essentiels." peut-on lire dans le texte législatif). D'autre part, la proposition de la Convention citoyenne pour le climat visant à "organiser progressivement la fin du trafic aérien sur les vols intérieurs d'ici 2025, uniquement sur les lignes où il existe une alternative bas carbone satisfaisante en prix et en temps (sur un trajet de moins de 4h)" (Rapport final du 21 juin 2020) semble mettre en péril également l'attractivité des territoires enclavés faisant signe vers une logique de décroissance là où l'avion représentait l'ouverture de nouveaux horizons. L'expression "un kilomètre de route ne mène nulle part, un kilomètre de décollage mène partout", devenue proverbiale, semble désormais passée de mode. La nouvelle génération condamne l'aviation dans un mouvement qui l'associe à cette mondialisation sans conscience qui sacrifie le respect de l'environnement sur l'autel de la croissance. Dans un monde sans transcendance où l'écologie est le nouveau dieu, l'avion est le symbole de la culpabilité de l'homme moderne, le péché originel de la globalisation.

C. La diffusion d'un discours fallacieux sur les conséquences environnementales du transport aérien risque de s'installer durablement dans l'opinion publique

Si l'amplification du mouvement est conséquente, il n'en reste pas moins que la vision punitive du transport aérien demeure un phénomène circonscrit dans le temps et dans l'espace. C'est en effet un phénomène générationnel, celui de la jeunesse éduquée des grandes villes européennes qui fait de l'urgence climatique le combat de son siècle, à l'image des engagements sociaux de la jeunesse des années 1960 et 1970 portée par les idéaux marxistes et révolutionnaires.

C'est également un phénomène récent qui a totalement renversé les

perspectives du début des années 2010 du "tout- avion" dans le souci justement de la préservation de la planète. Alors que la terre, ses forêts, ses vallées et ses montagnes sont lacérées par les routes, autoroutes et le ballast des voies ferrées dont les conséquences pour la biodiversité sont bien connues, le ciel apparaissait comme un espace vide, capable de se substituer aux routes terrestres par l'ouverture de nombreuses lignes évitant ainsi l'artificialisation des sols. Par ailleurs, ce phénomène concerne principalement les capitales européennes, scandinaves, anglosaxonnes et française. Ni les pays d'Asie et d'Asie du Sud-Est, ni ceux d'Amérique du Nord et d'Amérique latine, ni l'Afrique ne se sont fait les relais de ce mouvement.

L'enjeu pour le secteur aérien est que ce mouvement conjoncturel, porté par une frange radicale de la société ne se banalise pas, ne s'installe pas de façon structurelle dans la société ni de façon structurante dans le débat public - où l'avion deviendrait clivant, le passager et l'industrie stigmatisés. Or le discours semble avoir pénétré une large part de l'opinion publique. En effet, une forme de consensus émerge et tous semblent s'accorder sur quelques sujets : un taux élevé d'émission de GES du transport aérien, la nécessité d'une taxe kérosène ou la règle de toujours privilégier le train à l'avion sur les trajets courts. La banalisation d'un discours culpabilisant l'avion a eu pour principal effet de mettre en concurrence les défenseurs de l'environnement et l'usage du transport aérien. Cela est comme si le camp du Mal s'opposait au camp du Bien dans un contexte où la peur du changement climatique serait la nouvelle "peur en Occident" - entraînant son lot de réactions instinctives et de comportements irrationnels - pour reprendre les analyses de l'historien Jean Delumeau sur la façon dont la peur structure les comportements collectifs dans l'Occident des XIV-XVIIIe siècles 12.

Si l'aviation ne fait plus partie du monde de cette jeunesse, l'enjeu est que le discours ne devienne pas structurel dans la société. L'urgence écologique ébranle les deux piliers de l'aéronautique, la science et le rêve : on n'adhère plus au rêve et on dénonce la machine.

_

¹² Jean Delumeau, La peur en Occident. Une cité assiégée (XIVe-XVIIIe siècles), 1978

II. Renverser la perspective : la science et le rêve

A. Fidèle à ses valeurs, l'aviation a été pionnière dans le développement d'une stratégie environnementale grâce à des efforts en R&D qui dessinent sa trajectoire de décarbonation

La maîtrise de l'impact du transport aérien sur l'environnement est une préoccupation ancienne des avionneurs et motoristes. Pour chaque nouvelle génération d'avion de ligne des gains sont réalisés en matière d'efficacité énergétique. Selon le CGEDD « chaque nouvelle génération apporte une amélioration de l'efficacité énergétique d'environ 15 à 20% par rapport à la génération précédente¹³. Les auteurs précisent que "l'efficacité énergétique en siège/km a ainsi été améliorée de 70% depuis l'avènement des premiers jets dans les années 1960." A titre d'exemple, la dernière génération d'A320 du constructeur Airbus, avec le modèle A320neo permet une amélioration de l'efficacité énergétique de 20%. Il convient de noter que la réduction des émissions de la flotte mondiale est conditionnée par son renouvellement qui s'opère progressivement dans le temps.

Par ailleurs, le CGEDD remarque que "en 50 ans, la consommation de kérosène des aéronefs et donc les émissions de CO2 de l'aviation ont réduit de près de 80% en passager/km transportés". L'industrie aéronautique représente "seulement 13% de la consommation totale de carburant" selon l'OACI¹⁴. Les efforts engagés en matière de R&D ont permis, en matière de propulsion, d'aérodynamique, des matériaux et des systèmes de réduire l'empreinte carbone du transport aérien. Ces travaux sont coordonnés à l'échelle nationale au sein du CORAC. Le Conseil pour la Recherche Aéronautique Civile (CORAC) regroupe les services de l'État et l'ensemble des industries de la filière aéronautique sous l'autorité du ministère de la transition écologique et solidaire. A l'échelle européenne, ce rôle est dévolu à l'Advisory Council for Aeronautics Research in Europe (ACARE) qui coordonne les programmes de recherche Clean Sky et SESAR contribuant à la réduction de l'empreinte carbone du transport aérien.

-

Les biocarburants aéronautiques en France. Perspectives de développement de leur production et de leur usage à l'horizon 2020, rapport CGEDD-CGAAER, novembre 2015

Efficacité des biocarburants d'aviation du point de vue de la réduction des émissions de CO2, Note de travail de la Fédération de Russie. OACL 13 octobre 2017

Afin d'atteindre les exigences environnementales fixées au niveau international, quatre voies d'action ont été identifiées :

- 1/ Les progrès technologiques et les efforts en matière de recherche et développement (R&D) réalisés par les avionneurs et motoristes. Ils permettront aux compagnies aériennes d'utiliser des aéronefs moins consommateurs de carburant et donc moins émetteurs de CO2. Ces activités sont menées en France par le CORAC (Conseil pour la Recherche Aéronautique Civile) et à l'échelle européenne par le comité Acare (Advisory Council on Aeronautics Research in Europe):
- 2/ Le développement des biocarburants aéronautiques permis par les progrès réalisés au niveau des architectures nouvelles des avions et moteurs:
- 3/ L'évolution des systèmes de gestion du trafic aérien avec le programme SESAR visant au déploiement du « ciel unique européen » qui permettrait une réduction de 10% des émissions de GES grâce à l'optimisation des opérations en vol et au sol;
- 4/ Les mécanismes de marché de compensation carbone.
 - A. Au-delà de la maîtrise du savoir-faire, le faire-savoir est l'enjeu de communication que le secteur n'a pas su mettre en valeur en matière environnementale

On constate cependant un décalage important entre les efforts réalisés par la filière, les mesures et les engagements pris et la perception de l'impact environnemental de l'industrie aéronautique par la société civile. Comme nous l'avons déjà évoqué et d'après l'étude de la Chaire Pégase¹⁵, 90% de la population française a une perception erronée des émissions de CO₂ ou de la consommation de kérosène des secteurs du transport aérien. Globalement, le transport aérien est perçu comme largement plus polluant que d'autres. Pourtant, alors que le secteur aérien représente entre 2% et 3% des émissions mondiales et anthropiques de CO2, l'industrie textile rejette environ 4% et les activités liées à internet atteignent les 10%.

Cette étude réalisée sur une part représentative de la population française (nous estimons que les résultats seraient comparables dans d'autres pays européens et non-européens), montrent que ce biais de perception se traduit par : (i) une surévaluation de la pollution engendrée par le secteur

¹⁵ Les Carnets de la Chaire Pégase (op. cit.)

en valeur absolue et en comparaison avec d'autres activités économiques, (ii) l'ignorance des progrès réalisés en matière de réduction des émissions de CO2, (iii) une mauvaise estimation de la consommation de carburant, (iv) une mauvaise connaissance des pratiques et politiques mises en œuvre pour réduire l'empreinte environnementale du transport aérien.

Deux facteurs principaux contribuent à ce déséquilibre entre la réalité scientifique des conséquences environnementales du transport aérien et les perceptions communes des citoyens : une sous-estimation des opinions biaisées et défavorables et une mauvaise communication de la filière aéronautique. A titre d'exemple, si les mesures prises en matière de réduction des émissions de CO2 et les progrès déjà réalisés sont des informations évidentes pour les cadres, les dirigeants et l'ensemble des personnes formant la communauté des professionnels de l'aérien, elles ne le sont pas pour le reste de la population. L'engagement de l'industrie en faveur de l'environnement a largement précédé l'émergence des préoccupations écologiques au sein de la société civile et ceci explique probablement que les entreprises du transport aérien aient négligé la communication à destination des usagers et des citoyens en général. Les entreprises de la filière ont privilégié une communication axée sur le B2B et non sur le B2C et le récent sursaut compense difficilement l'ancrage actuel des préjugés.

A cela s'ajoute une certaine inaudibilité du discours tenu par les professionnels du secteur. On peut faire le constat qu'il n'est non seulement pas porté par les médias ou le milieu niveau politique mais qu'il est aussi décrédibilisé et accusé de greenwashing. Les risques de la banalisation d'un discours fallacieux sur l'avion doivent être pris au sérieux par l'ensemble des parties prenantes, y compris au niveau politique et institutionnel. Plutôt que d'ignorer le problème ou de le laisser se répandre par une passivité complice, une prise de conscience générale doit permettre le déploiement d'une communication plus ambitieuse. L'enjeu est double : le souci d'attirer les jeunes talents d'un côté et la nouvelle clientèle de l'autre doit être mis au centre de cette stratégie. D'un côté, l'attractivité des métiers de l'aviation est mise en péril par un discours anti-avions largement soutenu dans les Grandes Écoles et universités. De l'autre, la pression est économique et même légale, avec une mise en concurrence des transports et le développement des restrictions d'usage.

Le renouvellement du *storytelling*, ce que nous appelons le rêve, apparaît donc comme l'autre pilier sur lequel doit se construire, à présent, l'aviation de demain, pour la survie de la cabine et celle de l'usine.

 A. L'aviation du futur devra concilier les défis scientifiques et les ambitions climatiques

Du point de vue de l'avionneur, du motoriste, de la compagnie et de l'ensemble des parties prenantes enjeu : la survie de l'usine et de la cabine - l'aspect concret de la science, des savoir-faire technologiques et du rêve qui prend forme au-dessus des nuages.

Dans son ouvrage Airvore ou la face obscure des transports16, Laurent Castaignède, ingénieur conseil climat-air-énergie lie l'histoire de l'évolution du moteur automobile, objet technique par excellence, à celle des mentalités (société de la consommation, phénomène d'urbanisation, impératif de la vitesse) tout en dressant un constat catastrophiste de la situation, sur la base des rapports du GIEC sur l'évolution du climat. Pour autant, selon lui le salut ne viendra pas de la technique. Ce sont les mentalités qui doivent changer au travers d'un "marketing de la sobriété", d'une vision plus "frugale" de notre mode de consommation, selon le terme répandu dans le débat public. Ce constat interroge sur sa possible transposition dans le secteur aérien. Cela aurait des conséquences sur les business modèles des compagnies. Une des conciliations possibles pourrait en effet être l'émergence de nouveaux business models. Il faudra repenser l'offre du transport aérien autour du service rendu et de la logique capacitaire de transport. Les compagnies pourront devenir les nouveaux acteurs d'un déplacement multivecteur où les différents moyens de locomotion ne seront pas mis en concurrence mais vus comme complémentaires. Les aéroports continueront leur transformation pour devenir des plateformes multimodales toujours plus efficaces et les compagnies aériennes pourront se détacher de la gestion des flottes pour se concentrer sur l'offre de service, le point-à-point optimisé et l'expérience client. Toutefois, il faudra également prendre en compte le fait que coût d'un avion "vert" est plus cher, donc plus difficile à vendre dans un contexte où le marché aéronautique est en

_

Laurent Castaignède, Airvore ou la face obscure des transports. Chronique d'une pollution annoncée, mars 2018, éd. Écosociété

croissance principalement sur des zones qui ne se sont pas fait le relais du flygskam.

De nombreux projets ayant pour objectif le verdissement de l'avion ont vu le jour à la fois pour l'aviation de loisir - le Velis Electro de Pipistrel, un biplace entièrement électrique a même reçu la certification récemment de l'EASA en juin 2020 - ou pour l'aviation commerciale qui fonde sa trajectoire de décarbonation sur différentes hypothèses - l'hydrogène apparaissant aujourd'hui comme une voie plausible sinon probable. Parallèlement aux efforts de recherche de rupture technologique, des solutions plus court-termistes sont développées qui offrent une conciliation qui n'offrent pas totalement satisfaction. A ce titre, le danger est que les efforts du transport aérien se contentent de "greenwashing" l'utilisation impropre d'avion "vert" en est le parfait exemple. Cela signerait l'échec de la conciliation entre les progrès scientifiques et l'ambition climatique en ternissant l'image du secteur qui pourrait être identifié comme sale.

Sustainable Aviation Fuels (SAF): une solution "quick-win"

Un biocarburant durable est défini comme un "carburant produit à partir de biomasse et répondant à toutes les exigences prescrites dans le cadre de la certification des carburants d'aviation et nécessaires au maintien d'un niveau de sécurité optimal et répondant à des exigences environnementales fortes pour assurer des gains réels d'émissions de CO2, sans impact direct ou indirect sur les changements d'affectation des sols."17 Dans le secteur aéronautique, le terme consacré est celui de Sustainable aviation fuel (SAF). Les biocarburants aéronautiques ont pour avantage principal d'être un additif (« drop-in ») aux hydrocarbures, c'est-àdire partageant les propriétés du kérosène avec lequel il peut être mélangé en toute sécurité. Actuellement, le carburant le plus utilisé dans l'aviation civile est le Jet A-1 dont les propriétés ont été certifiées pour répondre aux exigences de sécurité et d'efficacité, à savoir un pouvoir calorifique élevé ; un point de congélation très

¹⁷ Lancement des biocarburants durables dans le transport aérien français, Dossier de presse, ministère de la Transition écologique et solidaire, 27 janvier 2020, URL : https://www.ecologiquesolidaire.gouv.fr/sites/default/files/2020.01.27 DP EB JBD Biocarburants.pdf

bas et un point éclair ainsi que d'autres propriétés liées à la présence de soufre notamment¹⁸. La production des biocarburants peut être issue de différentes filières parmi lesquelles : la filière bioessence avec l'éthanol obtenu par un procédé de fermentation de glucides en alcools ou la bioessence de synthèse obtenue par la transformation de matière carbonée en hydrocarbure via le procédé Fischer-Tropsch; la filière biogazole regroupant la transformation d'huiles végétales en biodiesel ou hydrocarbure; la transformation de matière carbonée en huile par pyrolyse¹⁹.

La réussite de la filière de biocarburants, constituant une avancée vers la réduction des émissions de gaz à effet de serre du transport aérien, dépend de plusieurs facteurs. Si la faisabilité technologique est actée, les enjeux sont davantage d'ordre politique, institutionnel et économique: la viabilité économique de la filière du fait de la différence de prix significative entre le carburant fossile et les biocarburants qui a un impact sur la compétitivité des compagnies aériennes françaises; l'élaboration de mécanismes d'incitation et de façon générale rôle de l'État dans l'organisation de la filière.

L'utilisation des biocarburants aéronautiques pour atteindre les objectifs climatiques fixés dans le cadre de l'Accord de Paris est pertinent techniquement mais apparaît moins praticable d'un point de vue économique. L'État, dans son rôle de stratège, a créé les conditions de réussite, avec les industriels concernés, pour l'émergence d'une filière de biocarburants nationale. Cependant de nombreuses adaptations sont encore nécessaires face aux incertitudes concernant la rentabilité du marché des biocarburants en raison des interrogations sur la disponibilité de la ressource biomasse pour couvrir le besoin national de 50% d'incorporation de biocarburants à horizon 2050, du coût de la collecte et de la transformation des biocarburants. Enfin, pour garantir la compétitivité des compagnies aériennes en l'absence de taxe du kérosène, une solution doit être trouvée dans les instances de la diplomatie internationale pour assurer « a fair level playing field ».

A la lumière des impacts économiques engendrés par la crise du

Paul NASH, Odile PÉTILLON, « CARBURANTS POUR L'AVIATION », Encyclopædia Universalis, URL : http://www.universalis-edu.com.acces-

distant.sciencespo.fr/encyclopedie/carburants-pour-laviation/

Covid-19 sur le secteur aéronautique, le développement de solutions alternatives à l'émergence d'une filière de biocarburants aéronautiques apparaît comme plus pragmatique. Ainsi, gains en matière de réduction des émissions de GES pourraient être réalisés par le renouvellement de la flotte des compagnies aériennes. La dernière génération d'Airbus neo permet de gagner 20% de réduction de consommation de carburant. Dans ces conditions, les compagnies aériennes françaises pourraient être accompagnées par l'État dans le renouvellement de leur flotte.

Les projets d'avion du futur doivent représenter une opportunité pour attirer les esprits ingénieux et déterminés à trouver une solution durable pour l'environnement et en harmonie avec les ambitions climatiques de la nouvelle génération.

III. Réenchanter le monde, réenchanter l'avion

A. Face au désenchantement du monde, l'avion, maillon du tissu social et culturel partage une mission de paix et de prospérité commune à d'autres secteurs vitaux pour les sociétés

Alors que les guerres de l'empire prennent fin, Napoléon étant vaincu, les villes détruites, les corps meurtris, Musset décrit le sentiment de désolation des jeunes soldats rentrant dans leur foyer en ces termes : "alors il s'assit sur un monde en ruines une jeunesse soucieuse." Sans transposer la situation issue des ravages de la guerre à notre période actuelle, les ruines s'amoncèlent au fur et à mesure des crises à répétition et le souci de la jeunesse grandit également. Face à ces maux, le réenchantement du monde est nécessaire. Notre hypothèse est que l'avion est non pas le bouc-émissaire d'une société en dérive mais une condition de son réenchantement.

Notons d'abord qu'un emploi dans le secteur aéronautique sous-entend 10 emplois indirects. Le secteur aéronautique emploie 600 000 personnes dans le monde et porte donc 6 millions d'emplois. Ces chiffres et ces illustrations sur l'importance du secteur sont aussi nombreux

-

Musset, Confession d'un enfant du siècle, Première partie, ch. II, 1836

qu'éloquents. Mais au-delà de ces éléments, l'aéronautique entraîne dans son sillage de nombreuses autres activités économiques dans un effet d'aspiration vertueux.

Le lien que crée l'avion et son rôle clef dans les chaînes solidaires des maillons de l'économie actuelle l'obligent. En s'imposant la rigueur nécessaire et en prouvant que les engagements de la filière sont à la hauteur des ambitions de la jeunesse et de l'urgence environnementale, l'aviation doit saisir cette chance unique de guider un réenchantement qui la dépasse. Ainsi, les progrès de l'aéronautique continueront d'irriguer et de diffuser la modernité dans des espaces et des domaines toujours plus variés.

B. Les acteurs du transport aérien doivent développer une communication qui répond avec la même énergie que leurs détracteurs, sur leur terrain tout en renforçant "l'aile qui gagne"

Le secteur aéronautique doit prendre la mesure de l'urgence et déployer davantage d'effort que ses détracteurs afin de restaurer sa légitimité perçue. Les mesures que nous listons sont des propositions pour améliorer l'efficacité de la communication du secteur aérien en zone de turbulences.

Premièrement, le secteur doit répondre aux critiques nourries de son adversaire et « faire front ».

Sur le modèle de ce qui se fait en matière de R&D à l'échelle nationale avec le CORAC, le secteur aérien pourrait mettre en place une *task force* au niveau de la filière et à une échelle au moins européenne, en lien avec l'Etat, la société civile et la jeunesse, pour coordonner la communication, mutualiser les coûts et créer une instance qui soit légitime et devienne la référence en matière de crédibilité dans le débat public. Les outils mobilisés seront comparables ce qui se fait dans les media :

 Un « service de desintox » dont la visibilité doit être assurée dans l'ensemble des media, qui vérifiera de façon scientifiquement établie, les rumeurs sur les émissions de GES des avions aujourd'hui ; (sur la taxation du transport aérien, sur la consommation de la dernière génération d'avion) Un comparateur des moyens de transport comprenant différents critères (prix, temps, émissions), en lien avec l'outil TARMAAC développé par la DGAC, disponible sur le site du MTES.

Par ailleurs, les acteurs de la filière pourraient renforcer leur présence dans les Grandes Écoles, en évitant certains écueils notamment liés aux accusations de « greenwashing ». L'organisation d'une « conférence-débat » entre une entreprise aéronautique, un scientifique et un militant serait pertinente, médiatisée et efficace. Sur le fond, il faudrait non pas opposer deux points de vue radicalement différents mais parvenir à faire passer des messages scientifiquement établis et précis qui mettent en péril les fausses rumeurs sur le transport aérien. Le phénomène de « téléconférence » durant le confinement a renouvelé l'engouement pour les conférences et peut être mobilisé utilement. Les Grandes Écoles et les universités doivent constituer le cœur de cible de cette démarche. La filière doit non seulement se concentrer sur les formations scientifiques pour s'adresser à ses futurs employés et cadres, mais surtout à ses futurs clients et voyageurs.

Enfin, il faudrait développer au travers d'événements de vulgarisation scientifique sur l'aéronautique (dans les aéroports, dans les lycées et collèges, ou de façon dématérialisée sur internet etc.) l'idée que le transport aérien est indissociable de l'appréhension d'une conscience environnementale dans le cadre d'un objectif de durabilité forte pour lequel s'engage la filière.

Deuxièmement, le secteur aérien doit déborder, au sens militaire également, ses détracteurs en renforçant l'aile qui gagne, c'est-à-dire en communiquant sur ses points forts et son empreinte positive sur la société. L'avion est tout à la fois une passion exaltée par les arts et les lettres, un vecteur de paix, de prospérité et de liberté ; l'industrie aéronautique rassemble l'excellence scientifique et le rêve de voler tout en participant, dans sa dimension militaire à la paix et à la sécurité des États. La filière ne doit pas redouter le débat mais le rechercher. L'industrie aéronautique a un rôle clef à jouer dans la transition écologique que tous désirent et doit assumer son devoir d'exemplarité. Son histoire et son esprit pionnier l'obligent.

On constate, dans l'ensemble, une communication désorganisée. Ce chant polyphonique désaccordé doit laisser sa place à un unisson. Dans un environnement marqué par la complexité et caractérisé par l'antagonisme des acteurs, la concurrence des temporalités et une incompatibilité apparente des objectifs, le transport aérien doit faire entendre sa voix. Son discours l'emportera par sa précision, sa sincérité, sa simplicité et sa force. C'est dans ce cadre que les progrès réalisés par l'ensemble de la filière donneront son nouvel élan à l'aviation.

C'est dans ce cadre que les progrès réalisés par l'ensemble de la filière donneront son nouvel élan à l'aviation. L'avion rapproche les peuples et crée des liens entre les cultures. Au cœur de la "révolution verte", l'aviation doit rester ce vecteur de paix et de prospérité. Aussi doit-elle construire un lien solide avec les nouvelles générations pour que l'avion guide le réenchantement du monde.

C. Renouer avec l'épopée, éviter la tragédie

Le récit de l'aviation est celui d'une épopée magnifique : celle des femmes et des hommes qui ont tracé un chemin impossible en repoussant, à chaque pas, les limites de la logique. Ils savaient que l'audace et la volonté sont les ailes qui nous élèvent vers nos rêves. Audelà de la pesanteur, de l'horizon ou des nuages, il y a rêve de voler. Il habite notre humanité et nous projette hors de nous sous le regard bienveillant du panthéon de l'aviation, d'Icare à Mermoz, de Léonard de Vinci à Armstrong. Leur élan continue d'imprimer un mouvement aux machines qui décollent.

Mais l'avion a cessé de faire rêver. Une génération a connu la conquête de l'air, la suivante celle de l'espace, une autre la démocratisation du vol et des voyages. Aujourd'hui, une nouvelle génération succède à toutes celles qui ont accompagné ce récit et vibré à son décollage. Elle considère le vol comme acquis. Le récit est désenchanté, l'épopée ne vit plus. Pire, la tragédie semble avoir pris le pas, si l'on se souvient qu'elle tire son origine de la fête entourant l'immolation du bouc - tragos en grec. Dénoncer l'avion aurait une fonction cathartique dans notre société moderne, permettant de purger les excès de l'homme et leurs conséquences environnementales. A la succession des générations s'est ajoutée la montée des préoccupations environnementales et la volonté de désigner un coupable. Un piège s'est refermé sur la filière aéronautique alors qu'elle partage les mêmes préoccupations que jeunesse qui la dénonce.

Insister sur cette dimension, c'est permettre à l'aviation de se détacher de cette image de monstre pollueur, complice d'un capitalisme sans moral. L'aviation est bien plus. C'est avant tout une aventure humaine et un vieux rêve. L'industrie doit avoir le courage de renouer avec l'esprit des pionniers qui ont marqué son histoire. Elle est l'instrument qui permet aux hommes de porter un autre regard sur leur Terre. L'avion est la machine qui rapproche les peuples et crée des liens entre les cultures. Au cœur de la "révolution verte", l'aviation doit rester ce vecteur de paix, prospérité et de rêve. Et c'est en réenchantant son récit, que l'avion guidera le réenchantement du monde.

* * *

"La terre nous en apprend plus long sur nous-mêmes que tous les livres. Parce qu'elle nous résiste. L'homme se découvre quand il se mesure avec l'obstacle. Mais, pour l'atteindre, il lui faut un outil. Il lui faut un rabot ou une charrue. Le paysan, dans son labour arrache peu à peu quelques secrets à la nature, et la vérité qu'il dégage est universelle. De même l'avion, l'outil des lignes aériennes, mêle l'homme à tous les vieux problèmes" écrit Antoine de Saint-Exupéry dans Terre des hommes. Par l'avion, l'homme se retrouve une nouvelle fois lié à tous les vieux problèmes. Mais les réponses aux enjeux contemporains que soulèvent à la fois la réalité scientifique de l'urgence climatique mais aussi les inquiétudes anthropologiques d'une nouvelle génération se trouvent déjà dans la grande histoire de l'aviation. Dans la fidélité à ses valeurs, la filière aéronautique saura, en réenchantant son récit, guider le rééchantement du monde.





Christine Lin

Christine is 20 years old and she is currently studying at the University of Technology of Complegne (UTC). This year, she is getting into the mechanical engineering program. She developed her passion for aviation during her one-month internship in 2019 in the plane maintenance aera. Ever since then, she have been participating in different activities involving aeronautics to deepen her knowledge. She started by passing the Aeronautics Initiation Certificate (BIA), then she chose to be part of the association UTCiel, the aeronautical association of UTC, as the head events and then as the president. Participating in the USAIRE Student Awards has allowed her to look more into a subject that affects us all. She wish to work in this field in the future in order to actually, go green and keep flying.



Chiu-Yüeh Blaise

Chiu-Yüeh is in his final year of study, doing a double degree with University of Compiègne and Cranfield respectively University, learning Mechanical Engineering and Aerospace Vehicle Design. **Passionate** aeronautic, Chiu-Yüeh is implicated in university aeronautical societies, helping students to take part in different activities concerning the aeronautical domain (airshows. museums. conferences). Selected as a French International Air Cadet in 2018, he was supported by a French flying heritage conservation association, where he helped create links between students. technical professionals and academics. The Usaire student award was a great opportunity for him to better understand the different challenges to have a futur environment-friendly aircraft. conception to operation and end of life. He would like to work on designing the aircraft of the future.



INTRODUCTION

Global warming and its accelerated evolution are concerning issues. Civil aviation is responsible of 2.6% [2] Carbon Dioxide (CO₂) emission per year. A 4% [3] year gross is assumed and without any improvement this will lead to triple the emissions and this without even taking other emitted gas such as Nitrogen Oxides (NOx) into account. The aeronautical domain is aware of its ecological impact and is already changing with the challenge to have a zero-emission aircraft by 2050 [2].

In the meantime, while writing this document, the aviation industry is facing the COVID-19 pandemic, its weaknesses are showing up [4], sometimes stopping s research programs, as the E-Fan X project [5], that could have given significant results for future aircraft. What if this situation was just the premise of what could happen to the industry if no 'green aircraft' were designed on time to face global warming? The pandemic increases the urge of not only going towards but actually creating an eco-friendly aircraft and making sure it is going to be the most common aircraft used in the future.

Starting with a critical appraisal to determine the pros and cons of new technologies used to reduce energy consumption and help define a more environmentally friendly future aircraft, operation of those aircraft with current measures and infrastructures show some issues that will need to be resolved. Eventually, changes in aircraft domain will have some social, political, and financial changes.

 Considering the importance of going green, new technologies are all mobilized to help create an eco-friendly aircraft that certainly will change the course of history.

- However, our current infrastructures and implemented measures are causing some issues in the fulfilment of our objective.
- If we manage to go through these different obstacles, the society might go through major changes (be it political, social or financial changes).

NEW TECHNOLOGIES FOR INCREASED AIRCRAFT PERFORMANCES

Aircraft are complex vehicles and are mainly constituted of a single fuselage and wing, a propulsion system under the wings or at the rear of the fuselage, with a tail plane and an empennage. Current aircraft are already highly optimised but new solutions can certainly help improve the change needed to both go green and keep flying.

> New propulsion energy (Fuels)

Since the beginning aviation, of propulsion emissions drastically decreased as their efficiency improved [6]. As an example, the Leap is consuming 15% less fuel than its predecessor [7]. Nevertheless, despite all the progress made, fuel extraction is decreasing in the world as its stock of fuel are running lower and lower [8][9]. Therefore, new solutions need to be adopted.

A way of reducing emissions during flight can be achieved with a new propulsive energy, that is to say by changing the fuel used. Two new energies are emerging: Biofuels and Synthetic Electrofuels, with biofuels already used in test flights [10]. Biofuels from are made compostable waste and biomass, while Synthetic Electrofuels (e-fuels) are with created use electricity creating a liquid hydrocarbon out of CO2 and water, acquired from human emissions activity for instance [11] Using unwanted material to create energy is promising.

Biofuels and Electrofuels, the last one being considered as a Renewable Fuels of Non-Biological Origin (RFNBO), are fuels allowing them to be used in current aircraft and can be used as a complete substitute of fuel. Small powerplant system changes might have to occur to keep in consideration safety operations, but in terms of cost, using the same aircraft with the new fuels is economically attractive. Comparing fuels on an energy density base, 100%

use of Biofuels has less energy than current jet fuel [12] while Electrofuels are planning to obtain an energy density of 32 MJ/kg of fuel [13], which is slightly under the current energy density of Jet A-1 turning around 46 MJ/kg [31].

Despite the fact those solutions have a lower energy density than current jet fuel, it could help the industry reduce its environmental footprint. Research on Biofuels and Electrofuels are still ongoing, and progress is made to increase the energy density [14].

A second solution to reach the ultimate zeroemission during flight would consist in using electrical energy instead of fuel [15]. Even if electrical motors are more efficient than jet engine - a ratio of 3 - if considering brushless motor technology. batteries energy capacity (195)

Wh/kg at highest [16]) are too low compared to jet A-1 (10,000 Wh/kg [17]). Lithium-ion Moreover, batteries made are pollutant that can't recycled or reused yet [18], transferring the carbon footprints on a different life cycle stage for longrange aircraft [20]. Li-Air therefore help reduce batteries footprints.

A way to use electrically driven aircraft without Lithium-ion would be to use Nano-electrofuel [16] or to have a hybrid configuration. Nanoelectrofuel is interesting as it is an electrically charged liquid (positively negatively charged), used like a fuel and place in tanks separated by membrane where electricity will be retrieved. The liquid used can be recycled and this technology is expecting to achieve an energy density of 575 Wh/kg.

Hvbrid configurations can be, for instance, a generation of electricity combining fuel cells and Liquid Hydrogen (LH₂) [22] or the use of a high-by-pass ratio using LH₂ as an on board generator. LH₂ is 3^{rd} considered the as lowest-carbon fuel according to Safran [23] as it has a rather high energy density of 120 MJ/kg [6] and emissions stay only 50 years in the atmosphere [3]. Main issues are regarding its production and bigger pressurised storages at a temperature of 20 Kelvin

Several solutions of Propulsive Energy are summarised in Table 1 with their respective Energy Density. Those Propulsive Energy can lead to 'zero emission flight' if the process of energy production is renewable.

which is incompatible with

current

configuration [6].

aircraft

Let us take Electrofuel, it was estimated that its use in aviation in Europe by 2050 would increase the use of electricity by 24% [11].

			Propulsive	Energy Ty	pe	
	Jet A-1 fuel	Biofuel	Synthetic Electrofuel	Batterie	Nano Electrofuel	Liquid Hydrogen
Energy Reference	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Energy density [MJ/kg]	46	Un-known	32	0.702	2	120

Table 1: Energy Density Comparison

Aircraft structure improvements

Aircraft have been using the same single fuselage-wing shape for years as it was the ideal shape for the propulsive systems used. Now, these systems and technologies are improving aircraft structures reduce Drag, Weight, Powerplant and Noise, decreasing the fuel penalty and finding optimum for different shapes propulsive systems [24].

Two concepts of aircraft have a lower drag

generated during flight: Box-Wing (PrandtlPlane -PP) and Blended Wing body (BWB) aircraft. Box-Wing aircraft have two superposed wings and a fuselage [25]. Α Sea configuration is possible with a hybrid or LH₂propulsive energy [27] increasing the number of commercial routes. configuration using the Open rotor could help reduce noise and fuel consumption even more [28].

The BWB, also called a flying wing, has only a single trailing edge reducing the induced drag.

The length and a wide fuselage are suitable for LH2 circular tanks. Those configuration are more fuel efficient than conventional commercial aircraft with the same capacities [26], reducing tip wing drags and allowing a fuselage increase for the Box-Wing and a better lift to drag ratio [29] for the BWB. Powerplant on top of the fuselage configuration can also help decrease the noise thanks to fuselage acting as a sound barrier.

The use of those aircraft concepts can be combined with new propulsive systems. The Open Rotor is consuming 30% less fuel than the CFM56 while reducing the noise [30]. The Open Rotor can only be used with fuel, configuration hvbrid could lead to further application of this engine in the future. LH2 High-bypass ratio (HBPR) are estimated to be verv efficient turbofan for long range aircraft with good performances and noise reduction [31]. Distributed propulsion using several electrical ducted fans could be easily implemented at the rear of the fuselage/wing to create a boundary layer, decreasing the fuselage drag [32].

Some research can help increase aircraft performances. For instance. golf balls are using determined geometry surface to create turbulent boundary layer to go further [33]: this could be used to achieve a natural turbulent boundary layer on aircraft surfaces. Another example is the following: whale tails have protuberances reducing by 8% the drag and increasing the Angle of Attack by 40% [34]. Surfaces create drag, morphing wing could reduce drag without using joints [35] or as in project demon demonstrated that mobile surfaces could be

avoided to control the dynamic of the aircraft [36], reducing in parallel aircraft radar signature and noise.

New airframe structures configuration in line with new powerplants and propulsion system will definitely help to build a more performant aircraft, allowing lower particles emissions and a better aerodynamism.

Technologies are still being characterized, but proof of efficiency are already present.

Systems

In line with new airframe structures, systems in the aircraft have an important role to play in making aircraft more environmental. Depending on what propulsive energy being used, secondary power for systems will have to adapt.

Batteries are not efficient yet and studies

are helping to create a More Flectric Aircraft (MEA). New generation aircraft have electrical power on-board and are equipped with electrically powered powered like actuators Electro Hydrostatic Actuator (EHA) and Electro Mechanical Actuator (EMA) which increasing efficiency and safety of systems [37]. For example, EHA is a localised hydraulic circuit. The power needed to keep the pressure at the required level for actuation is lower as hydraulic losses are less to happen.

MOE could also help use the OLED screens [38] and replace traditional windows and cockpit. Fake windows will allow smoother structure, reducing drag and weight created because of structure reinforcement around window. This technology offers a low electrical consumption while being lightweight, but concerns should be made on the reliability of this technology and human trust and comfort in aircraft if this technology were to be used.

F-taxi regenerative landing gear is interesting as the fuels to move the aircraft on the ground are energyconsuming, why not use aircraft inertia at landing to recharge batteries reverse this energy to perform aircraft taxi [39]. Being interesting an concept, complexity of this technology will add weight to the structures combined to poor batteries efficiency stock the energy produced and could increase fuel consumption instead.

An alternative of etaxi could be to remove landing gear systems and assist the take-off and landing of aircraft with a maglev electromagnetic rail. Removing landing gears weight, this concept can reduce aircraft weight by 9.3% and fuel consumption by 18.1%, as well as reducing the noise during take-off up to 64% [40].

Systems are being designed and are focusing on electrically powered system. Systems will change the way of how people fly as well as helping reduce aircraft consumption.

Conclusion

A critical appraisal performed on technologies to increase aircraft performances showed us the implication of aircraft industries to make aircraft 'greener'. Several promising technologies and research have been made. allowing us to better understand the future of aircraft. In, technologies were given a number between 1 and 5, with the following signification (1: Totally not suitable; 2: Feasible but not recommended; 3: Already in use; 4: Suitable, need more clarification; 5: Totally suitable).

Numbers were influenced by different parameters such as the life cycle of the Aerospace Vehicle, a military aircraft will not have the same life

cycle compared to a civil aircraft, the immediate use of the new technology, does the structure need to be change, and the feasibility of a new technology if it is still in a research stage, and will be developed in the next section.

			Ene	rgy (c	f. Tabl	e 1)	
		E1	E2	E3	E4	E5	E6
Refere	ences	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Militon	Unmanned	3	4	4	2	2	5
Military	Fighter	3	4	4	1	5	5
	LR (HC)	3	4	4	1	1	5
Commercial	LR (LC)	3	4	4	1	1	5
Aircraft	SR (HC)	3	4	4	4	4	5
	SR (LC)	3	4	4	5	5	5
Cargo	LR	3	4	4	1	1	5
Aircraft	SR	3	4	4	5	5	5

			Syste	ems	
		EHA/EMA	OLED	E-taxi	Gabriel
Refere	nces	S1	S2	S3	S4
Militon	Unmanned	3	1	4	5
Military	Fighter	3	4	5	5
	LR (HC)	3	5	2	5
Commercial	LR (LC)	3	5	2	5
Aircraft	SR (HC)	3	5	2	5
	SR (LC)	3	5	2	5
Cargo	LR	3	1	2	5
Aircraft	SR	3	1	2	5

					Aircraf	Aircraft Structure Improvements	Improve	ements		
		Sh	Shape		Propulsion	uo		New	New technologies	S
		DIAID	00	Open	LH2	Ducted	Golf	Whale	Demon	Morphing
		DVVD	r F	Rotor	HBPR	fans	Ball	Tail	Project	wing
References	nces	ASI1	ASI2	ASI3	ASI4	ASI5	ASI6	ASI7	ASI8	6ISY
Militory	Unmanned	- 2	5	2	- 2	2	5	5	5	2
MIIII	Fighter	4	4	2	- 2	2	2	- 2	5	9
	LR (HC)	4	4	- 2	- 2	5	- 2	- 2	4	9
Commercial	LR (LC)	4	4	9	- 9	5	- 2	- 2	4	9
Aircraft	SR (HC)	4	4	- 9	- 9	5	- 2	- 2	4	9
	SR (LC)	4	4	9	- 9	- 2	9	- 2	4	9
Cargo	LR	- 2	4	9	- 9	- 2	9	- 2	4	9
Aircraft	SR	- 2	4	- 9	- 9	5	9	- 2	4	9

Table 2: New technologies for increased aircraft performances (SR – Short Range, LC – Low Capacity, HC – High Capacity)

OPERATIONAL CHANGES OF NEW AIRCRAFT

technologies increase aircraft performances were established in the previous section. New aircraft mean new ways of operating them. An aircraft life cycle can be summarised in 5 steps [41] starting from the Design, followed bν the Manufacture, the Operation, various Maintenance/Repair/Alterc ation to achieve Continued Operational Safety, For this challenge, we are going to look the have а at Maintenance. aircraft Operations and end of life changes resulting from new technologies green in aircraft.

Flight Operations

In previous section, several new aircraft configurations could be adopted. Amongst them, a

range with short capacity import electrical aircraft was found to be a solution for a future aircraft. Short range aircraft are mostly affected to regional routes with a short turn times and high numbers of flight a day. A major issue encounter would be charging the batteries in a short time enough to have a relevant economic model to make companies money. Fast charging of batteries is creating heat and can damage the cells if not performed right while increasing the weight to withstand the heat generated by using this methodology. In CS 25. 'Electrical section 1353 equipment and installations' [42], it is stated that batteries temperature and pressure need to be the same at any time when used. More easily controlled in the air with ram air cooling, it is more challenging on the ground. An external cooling system will need to be found

in order not to increase the weight of the aircraft during flight. Nevertheless, nanoelectrofuel could get rid of this issue by loading two types of fluid, 1 electrically positive and 1 electrically negative charged fluid on the aircraft as a traditional batterie.

Concerning aircraft using LH2, first point should be made on the certification process. No mention of LH₂ in CS-25 is present, making an aircraft impossible to airworthiness have an certificate vet. Lack in CS-25 could be explained by the different issues that are still up to date. LH₂ are transported in a 2-barpressurised tank with a temperature achieving in this state 20 K (- 253°C). Moreover. it was established that to increase fuel efficiency, the should temperature be around 150 K at least (-123)[6]. Despite the fact that small changes aircraft could allow the use

of LH₂ in aircraft, temperature and pressure are the limiting factors, increasing thermal cycle and compromising safety of operation. During refuelling or a parking overnight, what are the condition required due to the usage of LH₂? Tank are highly isolated, but constant temperature would need to be achieved. to limit dilatation of it that could damage the structure of the aircraft during an overnight parking.

As part of LH2 tank, BWB or PP could be used their upgraded performances. Choosing the configuration, if a distributed propulsion system made with ducted fan is used on the trailing edge of the wing to increase the boundary layer, a new emergency evacuation process will need to be redefined as emergency exit from the wing will not be possible.

Looking at military application and usage of

new technologies to fulfil the demanding life cycle of and combat unmanned aircraft, batteries were not recommended operational force is needed quickly, but nanoelectrofuel could still resolve this issue. OLED technology could be of use for combat aircraft only and if this technology is resistant enough, why not imagine a counter parallel OLED screen that could help hide aircraft from its enemy. Last but not least, E-taxi with auto guided an electrical vehicle could help save fuel for more mission flight time and also increase the time to displace aircraft if an urgent operation is needed. As military have dangerous missions, choice of propulsion should be chosen for spying or combat abilities.

Operation of flights are going to be deeply changed by new aircraft. Choose of a new technology in accordance with emission diminution policy should be chosen in accordance with safety of Operation.

Airports infrastructure changes

The aviation industry can go greener if we take into consideration all the chain that involve an aircraft. Airports are also buildings that involve various form of pollution from both aircraft and daily commuting cars. How an airport can help aviation to be more environmentally friendly?

Green airports can lead to several benefits such as an increase in biodiversity and ecosystems, improve water quality, conservation, and restoration of natural resources. Plants and microbes help to degrade pollutants chemical and organic wastes. The presence of plants attracts pollinators which provide economic benefits to the agricultural ecosystem as it can increase the productivity of food crops as well as giving a good natural environment for passengers.

Airports can help aircraft reduce particles emission and noise emission using building materials working as noise protection barriers or encourage people use public transportation. Alternative renewable energy sources should be implemented and could also be combined with use of intelligent energy control equipment for lighting, heating walkaways, and escalators. These initiatives impose the installation at airports of wind turbines, biomass power plants and intelligent energy systems, recycling facilities, and so on.

As well as other resources, Airports consume a lot of water to maintain their infrastructures operational. Installation of rainwater

harvesting program, polluted water storage and treatment, water recycling and reuse. and other systems will help to save water. Recycled water is sufficient for airport operations because mainly non-potables in activities such as floor and aircraft washing. conditioning systems instance. Airports using recycled water demonstrate that it is economically and technically feasible helps the environment [43].

Waste management should also be improved. Lot of materials are used for the reconstruction runways or by consumers. Thus. recycling can contribute to landfill pressure relief and reduces the demand for materials extraction. Use of recycled pavements could allow a rapid reopening with the material being already on field the for instance. Implementation of waste incineration will help reduce

unnecessary waste such as packaging while producing energy.

Airport configuration changes should take in consideration aircraft of the future. LH2 facilities combining production and stocking would need to be added, as well as a Magley rail for the GABRIEL concept. A Maglev rail should allow aircraft with landing gears to takeoff and land as not all aircraft might use this concept. On a military side, use of GABRIEL concept might be useful on the next generation aircraft carrier of for French operational force. Electromagnetic rail can help propels aircraft with a high velocity and could allow space combat aircraft to achieve its high location more quickly with less fuel burned during flight.

The global air transport is expected to continue its rapid growth. At airport level, changes can definitely be put in place to reduce environmental, social, and economic impact and help the use of environmentally friendly aircraft.

Maintenance and end of life

Maintenance is compulsory to maintain aircraft airworthy and are highly related to the end of life as dismounting process are similar.

Recycling of aircraft will help reuse material, material reducing raw extractions impacts caused by use of chemicals and transportation. Aircraft material or products are reuse at first, recycled at second and disposed or burned at third [17]. Most valued part of the aircraft are the engines and the avionics and are mainly sell for a second use on a flying aircraft.

Previously, aircraft were constituted of 70% of Aluminium for the A330 and now tendency are with Composite with the A350 using 70% of it in its structure [17], to reduce structure weight and fuel penalties. Nowadays, 90% of the aircraft are valued during end of life but Carbon fibre are the missing part of this process. This material might save several amounts of fuel during flight, but recycling of it is not possible yet compares to Aluminium. New technologies might save energies and cost during flying, but the overall life cycle of an aircraft should be considered.

New technologies such as LH₂ tanks and batteries, while considered on a maintenance phase, can be less attractive. Use of LH₂ for end of life can be compared as use of Jet A-1 in a way considering that fuel when used only will left the tanks to take care off, but maintenance of them

are complicated due to the temperature pressure, and a direct eye check will not be possible to perform, therefor integrity of tanks will need to use micro adapted camera instead. Batteries complicated to maintain and to recycle. High power used in batteries harmless to human and dismantling it need to get rid stocked of the total electrical energy. Moreover, and had maintenance could create cells malfunction leading to a potential fire.

To help reuse and recycle aircraft, aviation stakeholders launched the Process for Advanced Management of End-of-Life Aircraft (PAMELA) project including research in three decommissioning, stages: disassembly, and smart and selective dismantling. An Aircraft Fleet Recycling Association (AFRA) was cofounded by BOIENG to setup new standards for aircraft dismantling, being responsible of 150 aircraft recycled every year.

Aircraft
manufacturers are taking
maintenance and end of life
of aircraft seriously,
showing good results and
progress, and working in
collaboration with ICAO
Committee on Aviation
Environmental Protection
(CAEP) to support aircraft
sustainability development.

FLYING IN THE FUTURE, A HUMAN CHALLENGE

Previous sections showed that technologies consistency and viability are progressing very quickly. What could precipitate the use of those technologies, what role does politics and consumer have and what will social, financial, and political impacts be?

Immediate improvements, an

economical motivation

Major technological changes are still on progress. Despite the urgent times, several immediate improvements can be applied on current aircraft.

Improvements electrification can be done on aircraft but also on software onboard or connected system. Development of the latter can help acquire real time information. Knowing the weather is useful for the optimization of altitude in order to use less fuel. Indeed, the optimal altitude of a plane changes along flight the as consumes fuel, thus weight will decrease. Air France are working on flight road optimisation using digital information to have precision better **OpenAirlines** reliability. developed a software based on data analysis from the

flight recorder, meteorological data and flight plan that enable companies to save fuel. Pilots can use the software called MvFuelCoach replay his flight in 3D and have information about the use of fuel in real time and see the different impacts when he leaves the landing gear, deploys flaps other manoeuvres and learn how to decrease its fuel consumption. Taxiing can now be performed with one engine only.

Thales is working on a flight management system optimize aircraft trajectories. Ironically, thanks to the support plan due to the COVID-19, research are accelerated. Pureflyt is developed to calculate in real time, new trajectories for optimization flight through a permanent exchange of data between the aircraft, the ground components. the airline. and the air traffic control transmitted by satellite

constellations. For instance, if there is a storm, indication of it will appear on screen before the onboard flight radar allowing the calculator to propose an improved and more efficient new trajectory helping save fuel.

Aviation used to be a linear economy, that is to say: it takes the resources, makes the latest product, keeps it for a couple of years and then, disposes of it in landfills The linear economy is not sustainable because it consumes a lot of finite resources significant generates a amount of waste, pollution, greenhouse emissions. Whereas, circular economy works to reduce waste, reusing and recycling rather than wasting resources, it tries to keep materials as long as possible. The 3 main actions are known as 3R: Reduce. Reuse. Recycle and companies like Air France-KLM group started to adopt

this strategy in their flight operations.

Applying the circular economy to aviation means a focus on designing operating sustainability, a design for reusability, a maximization in asset utilization, and better recycling. Therefore, it aims to reduce as much as it can, the environmental and social impacts, as well as to reduce economical costs and create jobs. The circular economy increases customer satisfaction by increasing a response to a sustainability challenge. This strategy can lead to a total modification of the supply chain, from product design to end-of-life management. Some breakthroughs such as 3D printer are yet helping aviation to transit toward a circular economy but there are still improvements that can be made to leave the linear economy. According to the ICAO report, 3D printing helped to reduce up

to 90 percent of raw material consumption.

If we apply circular economy on airports, the easiest thing that we can do redesign waste management as Gatwick airport did in 2016. This led to several positives results such as reducing operation cost from saving of onsite energy and water, up to £750,000 for Gatwick. Thanks to its efforts, in 2018, this airport became the first achieve the to Carbon Trust's Zero to Landfill certification which recognise companies that have successfully achieved zero waste to landfill.

Immediate changes mainly concern flying and operations methods. Education of aeronautical worker is the first step to reduce fuel emissions and economical saving directly come out from this state of mind.

Keep flying, social and political choices

More and more, human environmental consciousness is rising. Despite the fact that global warming was already known in 1970s, real actions are recent. Sustainability is now a state of mind, a way of leaving and a political direction.

The aeronautic domain is facing what can be called as 'aeronautic shaming'. radical Α approach would definitely be to not travel or buy products from others country, but attractivity in trips and exotic items are Some companies high. started to propose an additional green increased price to compensate the flight particles emissions. It was proven that consumer are ready to pay an extra price, but willingness is a factor of gender, flight range and gas reductions [45]. Women were more willing to pay than men. The higher the gas reductions were, the more likely the consumers were to pay this extra price with a limit of 15% the initial ticket price. Willingness to pay an increased ticket price to reduce gas emissions is encouraging as it will help compensate the high cost of a sustainable aircraft.

Consumers have a high power to make things if united, but change political have the same power too on a different scale. Political collaboration is the key to the future. Starting on a local scale in France, usage of Nuclear produce energy to electricity can help perform the energy revolution to a efficient way of more energy production as the International

Thermonuclear

Experimental Reactor (ITER) is trying to prove. Nuclear energy is creating debate as thought unsecure and

radioactive. but this technology is not creating huge amount of CO2 during energy production. The Fessenheim Nuclear power station was set out of service in 2020, results of this was the increase of imported electrical energy produced through coal-fired power station. ITER will be tested in 2035 and low CO2 emission constant and energy will start in 2100 [46].

Changing scale and moving to the Europe Union (EU), Airbus was created to concurrence Boeing, Several countries working are together daily, and Airbus proved more than once its capacity of achieving a good product from several collaborations. Batteries were found to be very low efficient and not that much useful for future aircraft, but a political call was made to create the 'Airbus of hatteries'. This collaboration will make several countries works on batteries and hope would be

that an efficient, sustainable, and moral [47] battery is created. The world needs batteries, but moral and pollution coming from them should not be part of making a better future world.

Improvements can be made in the EU also by merging airspace. planned to reform Air Traffic Management (ATM) because of the growing traffic. The de-fragmenting of Europe airspace will increase safety, reduce the aviation environmental footprint, and reduce costs related to service provision. Indeed, today, due inefficiencies in European ATM, companies are facing unnecessary delays and aircraft are producing more CO2 emissions than they project should. This named Single European Sky (SES) and was launched in 2000 by the European Commission. Thanks to this initiative, companies can plan freely their flight path, allowing more direct routes.

saving cost, and reducing CO2 emissions. SES concerns civil aviation, but military organizations demonstrated their interest in it because it will enable them to have a better access to European airspace for training and operational purposes without major constraints. It represents 25% [48] of all flights operating in European airspace.

EU has the power to act and define new rules in accordance with sustainable world policy, but concerns should be made on worldwide political stability. In 2016, the Brexit was pronounced. Now the pandemic is striking the world and how countries are dealing with the pandemic shows the different policy of different countries. Collaboration are important to combine and share knowledges, but economic and politic interest, if not and sustainable human could centred. create damaging issues for the

good of operations. Gross Domestic Product (GDP) gross is one of the major objectives to have jobs and a good country economy, but Jancovici [8] proved that diminution of resources is not compatible with GDP growth. Decision maintain stability countries will definitely come from energy independency. Production of new energies such as Biofuel or Synthetic fuel for instance will need more biomass or electricity input. Biomass can be increased with additional farming on another country soil, but choice of the country to feed its people increase its economy will then create moral issues.

Flying was created by and for human being. The world is answering to a wellknown economical scheme, interests first. Consumers proved that they are ready to help in performing the sustainable transition and should be supported or outdistance by politics, keeping moral integrity and human dignity while doing it.

Future of transportation

In this document, information was mainly concerning the aeronautic sector. In fact, future of transportation can be split between air, road, or marine transports.

Flectrical Vertical Take-Off and Landing (e-VTOL) aircraft considered as the new urban way of transportation in cities [49]. Ducted fans or propellers e-VTOL aircraft are favoured in urban mobility because structure footprints are rather small as it does not need a specialized equipment for take-off and landing. We just have to put the ducted fan on the ground, and it off takes vertically. Electricity is easy to install allowing the use of electric

engine, lowering the noise which is a must if we want to use e-VTOL in urban areas without disturbing people. UBER plans to develop an urban air taxi network using e-VTOL to transport people from one place to another by a ride-sharing system. They aim to create a quiet, fast, clean, efficient, and safe transportation system that is affordable for all [50].

The issue that they meet is again the low energy density of lithium-batteries which held qu distances flight. Different from different actors sectors: aerospace companies (i.e. Airbus, Boeing, ...), automotive companies (i.e. Audi, Honda, Toyota, ...) and technology leaders and investors (i.e. Google, Intel, Uber, ...) are developing high lightweight performance batteries and hybrid-electric systems. Such an implication of some world's largest companies shows that the e-VTOL might be

the future of aviation and transportation. During the COVID-19 pandemic. Δir Force was deployed transport a patient from a hospital to another, we saw the importance of aviation in daily life. The use of e-VTOL might be very useful and convenient. E-VTOL can be a promising technology for future aviation if it can pass through technological and regulation challenges standing in his way.

E-VTOL can replace cars and what can replace short-range trains and flights? The hyperloop, a project initially imagined by Elon Musk might be a response to this question. This concept relies magnetic levitation pods. propelled at speeds of up to 760 miles per hour [51] in a low pressure tube. With this speed, it can connect major cities rapidly. This new way of transportation can help to reduce congestion in and is airports more environmentally friendly with its low energy consumption. Furthermore, it will use solar energy using photovoltaic panels placed on the tube and batteries will be recharged during the braking of the train. Thanks the high speed, hyperloop can glide using passive maglev energy and will use only 10% of energy to initiate final velocity in the whole path. If hyperloop has a lower impact on climate change, it can have a negative effect on socioeconomic. Indeed. hyperloop especially plans to connect two main cities together. People living far from the station will not really be involved in by this new technology, whereas, they will contribute to the network through taxes. In addition, they will not benefit from the influence of the Hyperloop network, places where can attract more business and tourism.

Hyperloop can be useful to transport passengers from one place to another but for products, airship can be a good substitute too. Airship does not have a good image in our mind because of the Hindenburg accident 1937 due to hydrogen leak but today, new technologies help to avoid this can problem such as the use of very resistant materials. Airship does not require polluting energy for the elevation because it uses helium or hydrogen, fuel is used only to propel the ship forward. Thus, this way of flying will generate only 10% [52] of the CO2 emissions of a commercial aircraft. It can be used in the case where helicopters or ships could because not land earthquakes for instance as airship can land even in an unstable land and without specific infrastructure. The comeback of airship might be a good thing for the economy as it is a cheaper and cleaner transport than plane or boat.

After the return of the very slow heavier than air, the return of supersonic can rekindle the flames of all aviation lovers. Boom, an American start-up company is trying to create a greener supersonic. In terms of energy, they plan to use alternative fuels to lower their impact on climate change, tests were handled in 2019 and results show a positive way for this energy. Noise is the big concern for a supersonic aircraft and they also have to reduce the sound of the boom when they exceed the speed of sound which can be reduced if they adopt an optimal shape for the aircraft. It can be a promising technology because some companies such as Virgin Group or Japan airlines have already invested in this project [55]. Boom affirms that they can the reduce cost of supersonic flights by 75% [55] so the price of the ticket will be equivalent to a business class ticket.

CONCLUSION

Global warming and its accelerated evolution are concerning issues and aeronautic stakeholders are definitely involved and actively participating developing sustainable aircraft shown with several technologies and research to achieve this goal. New propulsive energy and new structures might take over traditional aircraft in a near future

It was found that depending on the operations, propulsive energy and propulsion would have systems different applications (cf. table 2). Propulsive energy was found to be the most complicated issues in terms technology, energy production and density in general being low compensate Jet A-1. Using renewable energy and oil substitute are not enough worldwide for demand. transportation energy will be more expensive increasing economic and social split. Economy priority will allow rich people to fly in supersonic business aircraft while average human would stop fast travels.

Political stability, consumer passion and worldwide partnerships are a way to help this transition to lower particle's emissions. Clear and Transparent knowledge sharing collaborations will allow further progress. Global warming and energy production should be the next priority if we want to keep human travelling. Note that runways for aircraft have a lower impact in terms of carbon footprint than the other transport as they need roads or rails to circulate.

Supposing an optimistic approach with ITER technology working in 2100 in the world with sustainable batteries acquired from the 'Airbus of Batteries', transportation

will face lack of fuel until 2100, decreasing common transportation system and digging social inequalities while using the existing energy, the transport sector will live again in 2100 with more hydrogen and electrical vehicles summarised in Table 3.

						Previ	Previsions						Application	tion
Transports		2030			2050			2065			2100		Eroioth	200
	Trend	%	Social	Trend	%	Social	Trend	%	Social	Trend	%	Social	rieigiii	Гах
Rail	1	44,6	Average	↑	44,6	High Income	\rightarrow	43,725	High Income	↓	43,8	Low	Yes	Yes
High Speed Train	1	5,15	Average	1	5,15	High Income	\rightarrow	4,6	High Income	\rightarrow	4	Average	Yes	Yes
Hyperloop	+	0,1	High Income	+	1	High Income	1	1,3	High Income	↓	5'1	High Income	Yes	Yes
E-VTOL	←	90'0	High Income		0,20	High Income	+	0,28	High Income	↓	9	Average	Yes	No
BWB	+	0,1	Average	+	0,84	Average	1	2,3	High Income	J	8	Average	Yes	Yes
ЬР	+	0	Average	+	1	Average	1	1,65	High Income	Ţ	4,5	Average	Yes	Yes
Conventional aircraft	\rightarrow	7	Average	\rightarrow	6,5	Average	→	6,3	Average	1	2,5	High Income	Yes	Yes
Car	\rightarrow	36,44	Average	\rightarrow	34,5	Average	\rightarrow	34	Average	Ų .	34,9	Average	No	Yes
Bus	\rightarrow	4,7	Average	\rightarrow	4,35	Average	\rightarrow	4	Average	—	4,6	Average	No	Yes
Boat	\rightarrow	1,9	Average	\rightarrow	1,5	Average	\rightarrow	1,35	Average		1,5	Average	Yes	Yes
Airship		0,1	Average		0,3	Average	+	0,42	Average		9,0	Low Income	Yes	Yes
Supersonic	1	0,01	High Income	1	0,06	High Income	Ţ	0,075	High Income	+	0,1	High Income	No	Yes
Energy used			Oil, Gas, S	ynthetic	Electrof	Oil, Gas, Synthetic Electrofuel, Electric, Hydrogen	, Hydroge	Ę,		Hydr Nar	Hydrogen, Electric, Nano-Electrofuel	:lectric, rofuel		

Table 3: Estimation of different transport (in EU) use function of energy progress (graph in appendix)

Estimation of different transport (in EU) use function of years %E-VTOL ---- % Hyperloop Years %bb 8 BWB -52010 % type of transport

Appendix

References

- [1] N.A.S.A. (July 2020). Climate Change: How Do We Know?, https://climate.nasa.gov/evidence/. last consulted 08/07/2020
- [2] May 2020, Hydrogen-powered aviation, A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050, Clean Sky 2 JU
- [3] Loïc Chauveau. (2020). Pourquoi l'avion propre est un défi difficile à tenir, https://www.sciencesetavenir.fr/ nature-environnement/climat/ledefi-hasardeux-d-une-aviationpropre 145599, last consulted 18/07/2020
- [4] Jen Mills. (July 2020). British Airways retires entire fleet of 747s due to drop in people flying, https://metro.co.uk/2020/07/17/ ba-retires-boeing-747s-droppassengers-due-coronavirus-13002222/, last consulted 18/07/2020
- [5] John Excell. (April 2020). Rolls-Royce and Airbus cancel E-Fan X project, https://www.theengineer.co.uk/e-fan-x-project-cancelled/, last consulted 18/07/2020
- [6] Egbert Torenbeek (2013), Advanced Aircraft Design, Conceptual Design, Analysis and Optimization of Subsonic Civil Airplanes, John Wiley & Sons, pp. 186
- [7] The Leap Engine, CFM International, https://www.cfmaeroengines.co mm/engines/leap/, last consulted 20/07/2020
- [8] (2019). Lecon inaugural de Jean-Marc Jancovici – rentree 2019 de Paris, Sciences Po, https://www.youtube.com/watch

- ?v=h9SuWi mtCM&t=6270s, last consulted 20/07/2020
- [9] L'épuisement des ressources, https://www.edf.fr/groupeedf/espaces-dedies/l-energiede-a-a-z/tout-sur-l-energie/ledeveloppement-durable/lepuisement-des-ressources, last consulted 30/07/2020
- [10] Ahmed Sherrif. (August 2018). India's First Biofuel Aircraft Takes Off Successfully: Will Air Travel Get Cheaper? https://www.thebetterindia.com/ 157200/india-first-biofuelaircraft-spicejet-delhi/, consulted 20/07/2020
- [11] Carlos Calvo Ambel. (November 2017), Electrofuels - what role in EU transport decarbonisation? Transport & Environment
- [12] (March 2020). Ben Custard. What is biofuel? What are the advantages and disadvantages?, https://www.carbuyer.co.uk/tipsand-advice/168179/what-isbiofuel-what-are-theadvantages-and-disadvantages, last consulted 20/07/2020
- [13] (2010). Electrofuels Programm Overview, https://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/default/files/electrofuels ProgramOverview.pdf, last consulted 20/07/2020
- [14] Singh, Lakhveer & Rana, Supriyanka & Thakur, Sveta & Pant. Deepak. (2020).Synthesis Bioelectrofuel by Nanoenzymes: Novel Alternatives to Conventional Trends Enzymes. 38. 469-473. Biotechnology. 10.1016/j.tibtech.2019.12.017.

- [15] (November 2019). Cranfield Aerospace Solutions (CAeS) £9m UK announces Government grant the for development of electric flight, https://www.cranfield.ac.uk/pres s/news-2019/cranfieldannounces-uk-governmentgrant-for-the-development-ofelectric-flight, last consulted 21/07/2020
- [16] J. A. Lechniak, M. Salazar, J. Morello, A. Waddell, K. V. Papathakis (January 2020), AQUIFER Nano-electrofuel Energy Economy and Powered Aircraft Operations, retrieved from https://ntrs.nasa.gov/archive/na
 - nttps://ntrs.nasa.gov/archive/na sa/casi.ntrs.nasa.gov/20200000 417.pdf
- [17] (March 2020). Sustainable
 Aircraft: Fantasy or reality?
 https://www.facebook.com/watc
 h/live/?v=2738083132936452&r
 ef=watch permalink,
 consulted 21/07/2020
- [18] Ryan Morrison. (November 2019). Electric cars could be causing a pollution CRISIS - with thousands of tonnes unprocessed batterv waste being DUMPED by drivers in the UK, study warns. https://www.dailymail.co.uk/scie ncetech/article-7655977/Electric-vehiclebattery-pack-waste-leaddamaging-pollutionproblem.html, last consulted 21/07/2020
- [19] B.J.Brelje, R.R.A.Martins (2019), Electric, hybrid and turboelectric fixed-wing aircraft: A review of concepts, models, and design approaches, retrieved from www.elsevier.com, Elsevier
- [20] João Ribeiro, Frederico Afonso, Inês Ribeiro, Bruna Ferreira,

- Hugo Policarpo, Paulo Peças, Fernando Lau. (October 2019). Environmental assessment of hybrid-electric propulsion in conceptual aircraft design. In: Journal of Cleaner Production, retrieved from www.elsevier.com, Elsevier
- [21] N.Hansson, M.Bradley, M.Campbell, De'Andre J. Cherry, K.Cox, D.D'Angelo, J.Gonzalez, C.Moore, J.Zee (2018) Environmental Impacts of Aerospace Batteries
- [22] Dave Calderwood. (June 2020). ZeroAvia makes first UK flight with electric Malibu. https://www.flyer.co.uk/zeroavia -makes-first-uk-flight-withelectric-malibu/, last consulted 22/07/2020
- [23] Bill Read. (May 2020). Turning aviation green, https://www.aerosociety.com/ne ws/turning-aviation-green/, last consulted 22/07/2020
- [24] Mistry S, Smith H & Fielding JP (2008) Novel design concepts for aircraft with reduced noise and global warming characteristics. In: 26th Congress of International Council of the Aeronautical Sciences, 2008, Anchorage, 14 September 2008.
- [25] Paul O Jemitola, John P Fielding (2012) Box wing aircraft conceptual design. In: 28th Congress of International Council of the Aeronautical Sciences, 2012, September 2012
- [26] Alexander Somerville, Matthew Marino, Glenn S. Baxter, Graham Wild (March 2016) Understanding Box wing aircraft: essential technology to improve sustainability industry, Vilnius Gediminas Technical University

- [27] Aldo Frediani, (June 2005) The Prandtl Wing
- [28] Colmenares Quintero, Ramon & Smith, Howard & Seresinhe, Ravinka. (2011). APPLICATION OF THE OPEN ROTOR IN A BOX WING AIRCRAFT: A FEASIBILITY STUDY.
- [29] R. H. Liebeck, M. A. Page, B. K. Rawdon (1997) Blended Wing Body Subsonic Commercial transport, In: 36th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 1998, January 1998, American Institute of Aeronautics and Astronautics
- [30] Safran celebrates successful start of Open Rotor demonstrator tests on new open-air test rig in southern France, https://www.safran-group.com/media/safran-celebrates-successful-start-open-rotor-demonstrator-tests-new-open-air-test-rig-southern-france-2017/1003, last consulted 22/07/2020
- [31] I. Dincer, A. Hepbasli, A. Midilli and T. H. Karakoc (2010) 'Global Warming: Engineering Solutions', Green Energy and Technology. New-York: Springer.
- [32] Ziang Gao, Howard Smith (2020) Blended wina body with Boundary layer Ingestion conceptual design multidisciplinary design analysis optimization environment. American Institute of Aeronautics and Astronautics
- [33] Gilbert Barfield. (April 2003) Golf ball dimple structures with vortex generators, US6547678B2
- [34] Biomimétisme & aérodynamisme : une evidence, https://www.bioxegy.

- com/biomimetismeaerodynamisme, last consulted 22/07/2020
- [35] FlexFoil Morphing Wing Technology Could Reshape the Future of Wing Design – AINtv, https://www.youtube.com/watch ?v=Lvlucywvtd4&t=3s, last consulted 22/07/2020
- [36] Developing the next generation of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) with BAE Systems, https://www.cranfield.ac.uk/Case-studies/research-case-studies/FLAVIIR, last consulted 22/07/2020
- [37] Craig Lawson (2019), Airframe systems lessons, Cranfield University
- [38] Jay Singh. (January 2020). Are OLED Screens The Future Of In Flight Entertainment?, https://simpleflying.com/oled-in-flight-entertainment/, last consulted 24/07/2020
- [39] (2012) Engineers confirm feasibility of aircraft regenerative braking from landing gear, https://www.greencarcongress. com/2012/02/epsrc-20120227.html, last consulted 24/07/2020
- [40] Daniel Rohacs, Jozsef Rohacs (2016) Magnetic levitation assisted aircraft take-off and landing (feasibility study – GABRIEL concept), In: Progress in Aerospace Sciences 85, 2016, pp 33-150, retrieved from www.Elsevier.com, Elsevier
- [41] FAA. Commercial airplane certification process study: an evaluation of selected aircraft certification, operations, and maintenance processes. Washington DC: Federal Aviation Administration (2013).

- [42] European Union Aviation Safety Agency (July 2019), CS 25 -Amdt. 23
- [43] S.L.B.Santa, J.M.P.Ribeiro, G.Mazon, J.Schneider, R.L.Barcelos, J.B.S.O.A.Guerra. (2020). A Green Airport model: Proposition based on social and environmental management systems
- [44] Circular economy, https://aviationbenefits.org/envir onmental-efficiency/circulareconomy/, Air Transport Action Group, last consulted 24/07/2020
- [45] C. Rice, N. K. Ragbir, S. Rice, G. Barcia. (2020), Willingness to pay for sustainable aviation depends on ticket price, greenhouse gas reductions and gender, retrieved from http://www.elsevier.com/locate/techsoc
- [46] ITER,c'est quoi ?, https://www.iter.org/fr/proj/inafe wlines,https://www.iter.or g/fr/accueil last consulted 30/07/2020
- [47] S. Lémeret. (July 2020) Production des batteries de voitures électriques: L'ONU met en garde, Retrieved from https://www.20minutes.fr/econo mie/auto/2816647-20200707production-batteries-voitureselectriques-onu-met-garde
- [48] European Defence Agency. (2017). The military in SES/SESAR, retrieved from https://eda.europa.eu/docs/defa ult-source/brochures/2017-edasesar-wac-brochure a4-final
- [49] Claude Le Tallec, Christophe Maury, Fabrice Cuzieux, Sylvette Canard-Caruana, Stéphane Beddok, Pierre-Marie

- Basset. (2018). Distributed electric aeropropulsion architectures for VTOL drones and urban air-taxi vehicles. In: AHS Technical Conference on Aeromechanics Design for Transformative Vertical Flight, 2018, San Francisco, January 16-19. AHS International
- [50] Uber elevate, Uber, https://www.uber.com/us/en/ele vate/, last consulted 27/07/2020
- [51] R.Walker. (2018). Hyperloop: cutting through the hype. https://trl.co.uk/papers/hyperloo p-cutting-through-hype, last consulted 27/07/2020
- [52] Contributor. (2015). Return of the Zeppelin – The Greener (And Slower) Way To Travel, retrieved from https://suitcasemag.com/travel/ stories/return-of-the-zeppelinthe-greener-and-slower-way-totravel/, last consulted 27/07/20
- [53] M. Piesing. (2019). Airship lost out to conventional aircraft after a series of disastrous crashes. But now safer technology could be the key to their return, retrieved from https://www.bbc.com/future/arti cle/20191107-how-airshipscould-return-to-our-crowdedskies, last consulted 27/07/20
- [54] T.Radford. (2019). Airship's return can boost hydrogen economy, retrieved from https://climatenewsnetwork.net/ airships-return-can-boosthydrogen-economy/, last consulted 27/07/20
- [55] A.Gray. (2018) Supersonic jets are making a comeback, retrieved from https://www.weforum.org/agend





Jonas Beuchert is an electrical engineer who was educated with a strong focus on automation and control. During this valuable time, he gained deep knowledge in areas such as signal processing, classic and modern control concepts, modelling, simulation, optimisation, and artificial intelligence. He had the chance to apply his skills in the aerospace industry while working with The Boeing Company on machine learning for production optimisation.



Later, he joined the University of Oxford to pursue a Doctor of Philosophy the field in autonomous intelligent machines and system. Currently, he is trying to improve GPS for low-cost lowenergy receivers using probabilistic signal processing after collaborated with AIRBUS adaptive spacecraft attitude control.



Greener Aircraft with AI

Jonas Beuchert

The targets are set: 189 nations committed themselves to keep the global temperature rise this century well below two degrees Celsius in comparison to pre-industrial levels [1]. The European Union is even more ambitious, it aims to be climate neutral in 2050 [2]. Global air traffic contributes to climate change with almost one billion tons of CO₂ emissions per year [3]. Currently, this is just two percent of mankind's total carbon footprint, but unlike emissions in almost all other domains, it has not been decreasing anywhere on the world (until recently). Although, it clearly has to to achieve the common targets.

It is not the case that passenger airplanes do not become more fuel efficient; in fact, each new generation every circa 25 years consumes about 20 to 25% less fuel [4]. However, the growth of air travel has been outpacing these improvements and the corresponding CO₂ reductions, compromising climate sustainability. In consequence, either technological progress must accelerate, or global air traffic must drastically and permanently reduce. The latter seems to be almost im-

possible since 80% of the CO_2 emissions originate from flights over distances larger than 1500 km for which ground transportation is usually not a feasible alternative [3]. Furthermore, it is difficult to reject the desire of citizens of emerging

countries for air travel comparable to the extent which the western world is used to for decades. To conclude, we must find technological solutions that will ultimately lead us to

"Climate change is the greatest challenge of our generation." – Airbus [39]

carbon neutral flights. For this, engineers - including me dream of revolutionising commercial aviation with hybridelectric or even fully electric aircraft. Additionally, chemists are working hard on climate-neutral biofuels. However, revolutions have always been a challenge for the aerospace industry due to the unmatched high safety requirements, the high investment costs, and the deep supply chains. In this case, the immaturity of the technologies adds to these challenges. E.g., only small prototypes of electric aircraft have been realised by now [5, 6] and current biofuels are three to four times as expensive as traditional aviation fuels and need deep supply chains, many resources, and large production sites all of which will require a long time and effort to establish. In conclusion, it will take decades until both technologies will enter the mass market, but we cannot wait that long; we must significantly reduce aviation's carbon footprint already until the mid of the century. With average airplane service times of 25 to 30 years, we must act now, and we must act fast. I.e., we

must think about an evolution rather than a revolution of our current designs, too. This evolution must be achieved with short development cycles and must allow for easy and commercially viable integration into existing aircraft designs. This is especially important due to the financial pressure on the aviation industry in the current times reducing the scope of major investments into innovations. But how can we significantly improve existing designs, although, thousands of experienced engineers have already spent years optimising them? Is that even possible? The answer is most likely yes. Airplanes

"We've made substantial progress, but there's more work to do." – Environment report, The Boeing Company [38] are some of the most complex pieces of engineering that have ever existed. Certainly, the whole plane but also many components have many more design dimensions than even a team of experts can ex-

haustively explore in years. So, most likely many possibilities for improvements are hidden in this vast design space. But how to find them? Maybe with the help of artificial intelligence (AI)!? This set of technologies has shown quick and disruptive changes in many other domains, especially since deep learning is emerging in recent years. It stands out due to its ability to scale, i.e., to cope with huge amounts of data and to perform millions of iterations within seconds in the cloud. Two points that are impossible for humans. Another special feature is that AI can address many different engineering

problems with similar approaches, i.e., it is a general purpose technology [7].

In my essay, I am going to approach the question if and how AI can help to design greener aircraft. For this, I am not primarily going to address a specific aspect of aircraft design and how it can be improved with the help of AI. Instead — and this has not been done before to the best of my knowledge — I am going to consider different AI technologies, briefly describe their core working principles, how they can be used for aircraft design, visit existing application examples, and estimate their future potential. Namely, this essay covers *generative design using genetic algorithms*, surrogate neural networks to replace physics-based models, and reinforcement learning. The whole analysis will focus on the grand challenge how to make future aircraft greener, i.e., how to accelerate the decarbonisation of air traffic such that the aviation industry is able to meet the set climate targets.

Genetic Algorithms for Generative Design

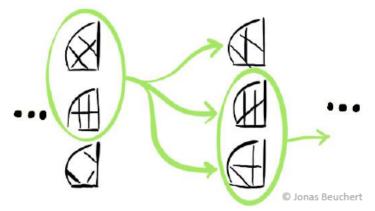
Generative design has been first used in architecture and styling [8]. Case studies have demonstrated that this type of AI can support or even take over creative design tasks that were typically carried out by humans. However, creative design is not only done by architects and artists. Engineering often requires creativity, too, especially in early stages of product design and development when engineers quickly draft solutions guided by their intuition without evaluating all

possibilities in detail [9]. Computer-aided optimisation, such as topology optimisation, is – if at all – usually only employed in later stages to refine the initial designs [8]. Although, this procedure has been proven to be efficient and successful by generations of engineers, it does not guarantee the optimality of the final solution. Especially, if the design space is large, it is impossible to exhaustively explore it manually and we must rely on the engineer's intuition.

Generative design aims to assist engineers in the creative conceptual stage by allowing them to explore a much larger range of possibilities [9]. Unfortunately, the concept suffers from a lack of clear definition; different researchers and companies label different concepts as generative design. This essay focusses on generative design with genetic algorithms, whose main idea is to mimic nature's evolutionary approach to design through genetic variation and selection.

How it works

In principle, a genetic algorithm is just a specialised solver for a mathematical optimisation problem. Such a problem is defined by constraints, which limit the solution domain, and an objective function, which is sometimes called the fitness function [10]. A genetic algorithm starts with an initial population of candidate solutions, which can be randomly generated within the constraints. Next, two stages alternate, selection and genetic variation [11, 12]. In the selection phase, certain designs in the existing population are chosen to breed a new generation. For this, the fitness function evaluates every candidate. Configurations that score higher are more likely to be



Genetic algorithms select the best designs out of a population and combine them to generate an improved generation.

selected for breeding. The algorithm generates a novel generation by combining the selected designs using two genetic operators, crossover and mutation. On the one hand, crossover merges two high-scoring configurations. On the other hand, mutation introduces some random changes to guarantee variability. An alternation of these two steps statistically leads to a set of configurations with high – if done correctly nearly optimal – fitness.

The main advantage of genetic algorithms is their ability to cycle through millions of complex configurations within seconds, a fact that has become reality only in recent years with the availability of large amounts of affordable and readily available compute power in the cloud [13, 14]. Additive manufacturing — another emerging technology that has entered the commercial aviation market during the past 15 years, — especially 3D printing, can produce parts of almost any geometry. Furthermore, it allows mixing of materials with dif-

ferent properties in different zones of the same part. For both reasons, it dramatically increases the design space, which cannot be exhaustively explored by human designers and engineers anymore. Therefore, additive manufacturing is an ideal domain to apply the power of genetic algorithms to overcome this limitation [14].

The first step – defining the optimisation problem – is still carried out by humans [15]. The constraints of the problem can capture mechanical and geometrical requirements as well as properties of the material and the manufacturing process and their costs and the objective function can target minimum weight [8, 9]. An airplane's CO₂ emissions are approximately proportional to its weight. The population of initial configurations is, e.g., a set of randomly generated CAD models of part designs that lie inside the constraints [9]. The fitness function selects the designs with minimum weight, and they are merged with each other using the genetic operators to obtain an improved generation. The two steps alternate until, ultimately, they output a set of similar light-weight designs that are ready for production.

Example

Airbus is already using genetic algorithms for interior design since 2016 [14]. Together with Autodesk, a team of engineers rethought the design of a partition that separates the passenger compartment from the galley in the A320 cabin. At first, they defined requirements, i.e., constraints for the optimisation, including mechanical properties such as resistance to stress and geometrical properties such as anchor points,





Airbus' Al-designed cabin partition in the 3D printer (left) and assembled (right) [14]. Generative design explored the full design space offered by 3D printing to find this configuration with minimum weight but equal strength.

thickness, and cut-outs. This allows for a relatively simple replacement of the existing part without the need for modifications of other aircraft components and simplifies part certification, too. Furthermore, they defined the material, a metal alloy developed by Airbus, and the manufacturing method, 3D printing, which impose additional constraints. Subsequently, they applied generative design to automatically find the solution in this design space that minimises the weight. The resulting part is as strong but 45% lighter than its predecessor. If rolled out in all A320s, just this one part could save 500,000 tons of CO₂ per year. In addition, the process uses only 5% of the raw material that the traditional process of milling parts down from a metal block uses, which helps to reduce the company's environmental impact, too.

The peculiarity of Airbus' re-designed part is its extremely complex and organic looking structure, which optimally addresses the given problem. Furthermore, it is the largest aircraft component that has ever been 3D printed – a single

piece without fasteners. This design would have almost certainly never been found by a human engineer in a reasonable amount of time; just drawing this single configuration using CAD would have consumed days. This underlines the advantages of generative design, which can generate and evaluate millions of

"The reason why we were able to reduce the weight of a component like the bionic partition by 45% is simply because we combined generative design and 3D printing." – Bastian Schaefer, Innovation Manager, Airbus [14]

designs within seconds and with little resources [15, 13].

Outlook

A weight reduction of almost half sounds game changing; just imagine the fuel savings resulting from an airplane that is overall 50% lighter. However, most likely, Airbus picked a part for their first generative design project that was expected to allow large material savings. So, 50% must be expected to be an upper bound for the reductions that are achievable with the current state-of-the-art technology. Nevertheless, advancements of the 3D printing hardware and the algorithms, e.g., deep generative models, as well as experience gains by the engineers and an increase of available training data for

the algorithms are expected to enable further improvements in the future. In addition, generative design is becoming more accessible, even for employees with little programming knowledge, since it is becoming part of commercially available CAD/CAE platforms [16, 17].

Airbus plans to apply its methods to larger structures inside their planes, e.g., the cockpit wall, which is twice the size of the partition and needs to be bulletproof, or the structure that houses the galley for food and beverage service [14]. The company has the vision of a bionic airliner in 2050 [14]. Further steps towards this vision would be to re-design and manufacture small and medium size parts such as hinges, brackets, and further interior components [18]. Similar weight reductions can be expected for these parts. In addition, some of them allow to incorporate the cooling and ventilation functions of then-obsolete adjacent components. This is because of the non-solid structures with internal cavities or lattices that are achievable with Al-designed 3D printed parts and allow for improved airflow.

Furthermore, nothing stops engineers from applying genetic algorithms to fuselage or airframe designs. However, the demanding stress requirements for these structural parts most likely drastically reduce the achievable material savings. Also, 3D printers that are large enough to manufacture them do not exist yet and additive manufacturing techniques that are currently feasible for those parts — composite manufacturing with automated tape lying (ATL) / automated fibre placement (AFP) — are different and require further adjustments. Addi-

tionally, only few large airplanes - namely the Boeing 787 Dreamliner and the Airbus A350 XWB - are dominantly built using additive manufacturing. A 787 is made of 50% composites, including fuselage, wings, tails, doors, and interior [19], and a A350 53% including wing box, fuselage, and empennage [20]. In consequence, these planes offer more possibilities for weight reduction with designs optimised by generative design. However, changes to structural parts require expensive and time-consuming certification processes. Furthermore, establishing production facilities with capacities for much more composite parts will take time and money, too, e.g., Boeing invested more than one billion dollars in to its new Composite Wing Center just to replace the aluminium wings of the 777 with parts made of composites [21]. Nevertheless, most companies are already planning to substitute more and more components with composite or 3D printed parts [22, 20, 23, 21, 24] and Al-driven designs might render this transition commercially viable even earlier.

Artificial Neural Networks as Surrogate Models

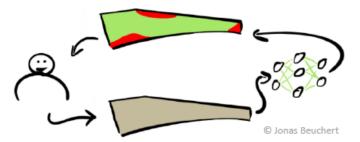
Generative design requires a given objective function and a given set of constraints. This is true for any design optimisation technique, even if it is performed manually. Mathematical functions map design candidates to properties that characterise, e.g., aerodynamics, loads, flight dynamics, weight, structural strength, or producibility [25], which appear as constraints or objectives in the optimisation problem. While

some of these properties can be easily and directly derived from designs, others require complex physical models and simulations and some mappings are even unknown or rely on heuristics. Because precise physical modelling is time-consuming [26, 25, 27], this slows down or even prevents the commercially viable introduction of novel materials, part designs, and manufacturing techniques. Furthermore, it can happen that newly introduced parts and processes that are expected to be optimal in some sense do not fulfil the expectations because the chosen model, on which the optimisation was based, was wrong or at least imprecise due to attempts to limit the modelling effort.

A solution is to derive complex physical models from existing data with machine learning instead of attempting to explicitly model them based on expert knowledge [26, 25, 27]. The idea of using neural networks as surrogate models is not new and has already been applied to aircraft design more than 20 years ago [27]. However, the advancements of efficient algorithms that can handle large amounts of data, address complex engineering problems with many dimensions, and quickly run on tailored computing hardware such as GPUs, especially deep learning, enable new possibilities.

How it works

Like any other model class that is used in engineering, artificial neural networks are functions that map a set of input variables to a set of output variables. Their design is inspired by biological neural networks such as brains. Specifically, they consist of layers of nodes called neurons, which can be sever-



Artificial neural networks provide valuable feedback for engineers about the producibility of their part, e.g., a wing skin, allowing for iterative design optimisation.

al millions in deep neural networks. All neurons are connected to neurons in adjacent layers. At first, the inputs, i.e., real numbers, are fed into the first layer. Each neuron weights them differently and applies a non-linear activation function to the weighted sum. If the sum is high, then the neuron's output is high, if the sum is low, then the neuron's output is low, too. The second layer uses the outputs of the neurons in the first layer as inputs, weights them with different weights and calculates activations again. In this way, the inputs are propagated through the whole network until the last layer provides the desired outputs.

This structure is very flexible and allows to approximate almost any mathematical function. The first step when using artificial neural networks as surrogate models is to collect training and test data, i.e., exemplary inputs and outputs of the physical process that we attempt to model. In the training phase, we feed this data into the neural network and the weights of the connections are optimised such that the test outputs are best approximated. Subsequently, we can take

novel component design proposals and use the model to predict the outcomes, e.g., lift and drag values [27, 25], noise, emissions, and weights [26], or moments of inertia [27].

Example

My own project when I was working as a tool engineering intern with The Boeing Company in 2018 serves as an example for this section. The company currently replaces the widebody jet airliner family 777 with the next generation - the 777X, - which saves weight and, therefore, fuel with wings made of composite material rather than aluminium leading to increased efficiency by 7% alone [28]. Boeing produces the composite wing skins with automated tape lying (ATL) [29]. A heated robot head sequentially places layers of carbon fibre following pre-defined courses. This a very complex physical process. Therefore, it is challenging for engineers to come up with part designs that can be easily, quickly, and reliably manufactured [30]. In the initial phase of the use of such an alternative production technology, it may happen that the machines run with reduced speed and manual inspection and rework may be necessary to ensure the quality of the final product. This is because no physical model exists that can accurately predict the producibility of part designs with ATL. To support the timely introduction of novel components like wings, which are crucial for the efficiency gains of a redesigned airplane, a solution is to develop a neural network as surrogate model that uses the part geometry as well as several machine parameters as inputs and calculates producibility scores for different areas of the part [31]. These scores



Heated ATL head laying down a wing skin in Boeing's Composite Wing Center [29]. Predicting the part quality and the likelihood of defects that result from a certain pair of part design and machine parameters is a challenge, which is successfully addressed with artificial neural networks.

can be used by engineers to optimise the design in a closed feedback loop [30] and to adjust machine parameters leading to faster production cycles with lower machine down-times while maintaining the high part quality and reducing the amount of rejected parts.

Clearly, this concept is not limited to ATL and can be transferred to other manufacturing domains.

A major challenge for the design of an AI like this one is how to represent the complex design of a large aircraft component, e.g., a wing skin, which is more than 20 m long, in a lower-dimensional space that can be fed into a neural network. This can be partly achieved by parametrisation of the CAD model and partly by treating the surface of the design like a camera image that consists of discrete pixels [30, 32,

33]. This allows to apply efficient neural network structures that were pioneered for image processing and analysis [32, 33], a domain where AI has been very successful.

Outlook

The given example shows that artificial neural networks allow to mathematically describe physical processes that cannot be modelled with traditional approaches. This can be an important factor to ensure that the introduction of novel manufacturing techniques, novel materials, and novel designs happens on time and on budget. Both is crucial if we aim to quickly introduce greener parts in the next years.

However, Al plays a secondary role in this regard. The primary goal is to design parts with minimum weight. While weight is clearly a physical property of a part, the mapping from the part design to its weight is usually a simple function with well-known parameters, e.g., material densities, and does not benefit from complex surrogate models.

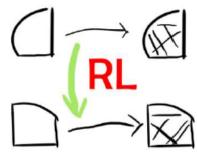
Furthermore, neural networks cannot be considered to be a novel technology in aircraft design, many different application scenarios have already been identified [26, 25, 27]. Its novel benefits originate again from the combination with newly introduced manufacturing techniques as well as the advent of deep learning. Treating part designs like images and feeding them into tailored deep neural networks allows to handle complex high-dimensional problems that cannot be addressed with traditional neural networks.

Reinforcement Learning

Reinforcement learning is an optimisation technique whose structure is close to that of traditional human-driven design processes [15]. In addition, deep reinforcement learning, i.e., reinforcement learning combined with deep neural networks, is currently one of the hottest topics in AI research and let to famous breakthroughs such as the development of Google's AlphaGo in the past decade [34, 35]. However, industry has not adopted the technology on a broad scale yet.

How it works

Again, optimisation with reinforcement learning requires a constraint search space and an objective or reward function that shall be maximised. Unlike genetic algorithms, reinforcement learning starts with a single feasible instance (a state) and probes the



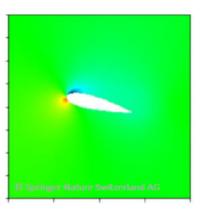
© Jonas Beuchert

Reinforcement Learning (RL) comes up with policies that transfer designs to different requirements.

space around by evaluating the reward function for close instances. Over time, the algorithm can deviate further from the initial solution to explore unseen parts of the search space. However, the goal of reinforcement learning is not to find an optimal solution for a single given set of constraints. Instead, it learns a policy how to change the initial state to-

wards a better solution, which generalises to different search spaces.

In product design, reinforcement learning is employed to adapt design configurations to different but similar requirements [36]. E.g., reinforcement learning can transfer a successful design for one part to other parts with similar requirements. Just as in a board game where a good strategy can counter playing



Simulation of an aerofoil angle of attack optimised with reinforcement learning [36]. Reinforcement learning stands out due to its ability to generalise, i.e., to adapt configurations to different requirements.

behaviours of opponents that you have not met before.

Examples

To the best of my knowledge, the aerospace industry has not adopted reinforcement learning for product design yet. However, researchers have shown that reinforcement learning can be successfully employed to optimise an aerofoil angle of attack [36]. Especially, they have used deep reinforcement learning to handle the high-dimensional input data. The algorithm learns design policies that generalise well for different aerofoil shapes.

Furthermore, reinforcement learning has been used to automate the tuning of a sub-component of a rocket engine [37]. The prototyped algorithm is assumed to save "thousands of dollars" and up to three months of testing.

Outlook

The ability of reinforcement learning to adjust existing solutions to different requirements can help to accelerate the design of greener aircraft components. As soon as weightsaving solutions for some parts are found, they can be transferred to similar ones with only little additional effort. Due to

the huge number of parts of a modern jetliner, this procedure has the potential to save considerable development time. However, the high-dimensional input space of designs such as Airbus' cabin partition are still a challenge for state-of-the-art reinforcement – and even deep reinforcement –

"Our solution could save thousands of dollars and cut up to three months of manual testing on expensive testing equipment." – Edward Mehr, Data Product Management Fellow, Insight [37]

learning algorithms. Further research in this direction is required and also on more sample-efficient methods, i.e., algorithms that need less training data.

Conclusions

The impact of AI on greener aircraft designs will significantly depend on the chosen application area. It has been demonstrated that state-of-the-art generative design can lead to weight reductions of up to 45% for certain parts, but the gains

for others with tighter design requirements might be much smaller. A key component to unleash the power of Al-driven design processes is an increase of additive manufacturing capacities. However, all major companies are already investing into this field and Al-driven process optimisation will help to make these investments commercially viable earlier.

An additional bottleneck is the high complexity of aircraft designs. If research makes progress with developing algo-

rithms that can quickly work with many dimensions, then generative design and reinforcement learning cannot only be employed to make individual components of current

"Al automates learning, which is the core of innovation." –
Roberto Verganti et al. [15]

aircraft greener, but also for major contributions to the design of the next generation, which will most likely contain significantly more and larger bionic parts than ever before. This will help to decrease the carbon footprint of global air traffic while ensuring that boarding a plane does not become a luxury.

Furthermore, Al-driven design is not limited to commercial aircraft. Replacing parts of fighter aircraft with alternatives that are lighter but equally strong might even be achievable in a shorter time horizon due to their usually smaller size requiring smaller investments into production process changes.

Finally, the use of AI is not only reasonable from an environmental standpoint, but also from an economic perspective. With fuel expenses contributing to airlines' operating costs with 23.7% [3], lighter aircraft will help them to save money and invest into renewals of their fleets - each kilogram of weight reduced on an aircraft can roughly save 3000 \$ worth of fuel [18]. Furthermore, other industries have demonstrated that AI has a short time to market and (deep) neural networks, generative design, and reinforcement learning are already part of common engineering software. This lowers the amount of needed skill training as well as the time spend in development cycles. In general, AI is a digital technology, which requires very low investments in comparison to production equipment that is used to build aircraft. In consequence, it is a perfect companion for novel manufacturing techniques and knowledge-based aircraft re-design, which will altogether make the future of air travel greener.



References

- [1] "The Paris Agreement," United Nations Framework Convention on Climate Change, 2020. [Online]. Available: https://unfccc.int/process-andmeetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement. [Accessed 22 June 2020].
- [2] "2050 long-term strategy," European Commission, [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en. [Accessed 22 June 2020].
- (3) "Facts & Figures," Air Transportation Action Group, 2020. [Online]. Available: https://www.atag.org/facts-figures.html. [Accessed 22 Jun 2020].
- [4] The Boeing Company, "Boeing Airplane Family 15 to 25% More fuel efficient with each new generation," 2019. [Online]. Available: https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/principles/environment/p df/Eco_Brochure.pdf. [Accessed 22 June 2020].
- [5] "Boeing announced on April 3, 2008, that it has, for the first time in aviation history, flown a manned airplane powered by hydrogen fuel cells.," The Boeing Company, 2008. [Online]. Available: http://www.boeing.com/aboutus/environment/environmental_report/_inc/fl ash-2-1-2.html. [Accessed 22 June 2020].
- [6] "Electric flight," Airbus S.A.S., 2020. [Online]. Available: https://www.airbus.com/innovation/future-technology/electric-flight.html. [Accessed 22 June 2020].
- J. Klinger, J. C. Mateos-Garcia and K. Stathoulopoulos, "Deep learning, deep change? Mapping the development of the Artificial Intelligence General Purpose Technology," 17 August 2018.
- [8] S. Bagassi, F. Lucchi, F. De Crescenzio and F. Persiani, "Generative Design: Advanced Design Optimization Processes for Aeronautical Applications," Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, 25-30 September 2016.
- [9] S. Krish, "A practical generative design method," Computer-Aided Design, pp. 88-100, January 2011.
- [10] J. P. McCormack, A. Dorin and T. C. Innocent, "Generative design: a paradigm for design research," Design Research Society (UK) International Conference 2004: Futureground, 17-21 November 2004.
- [11] I. Horváth, "On some crucial issues of computer support of conceptual design," in Product engineering: eco-desing, technologies and green energy, Dordrecht, Netherlands, Springer, 2005.
- [12] H. Bohnacker, B. Groß, J. Laub and C. Lazzeroni, Generative Gestaltung, Verlag Hermann Schmidt, 2009.
- [13] A. Nilsson and M. Thönners, A Framework for Generative Product Design

- Powered by Deep Learning and Artificial Intelligence Applied on Everyday Products, Linköping: Linköping University, 2018.
- [14] "Reimagining the future of air travel," Autodesk Inc., 2020. [Online]. Available: https://www.autodesk.com/customer-stories/airbus. [Accessed 22 June 2020].
- [15] R. Verganti, L. Vendraminelli and M. Iansiti, Design in the Age of Artificial Intelligence, Harvard Business School, 2020.
- [16] "Generative Design," Autodesk Inc., 01 June 2020. [Online]. Available: https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/ENU/Revit-Model/files/GUID-492527AD-AAB9-4BAA-82AE-9B95B6C3E5FE-htm.html. [Accessed 24 June 2020].
- [17] "Generative Design Engineering," Dassault Systems, 2020. [Online]. Available: https://ifwe.3ds.com/media/generative-design-engineering. [Accessed 24 June 2020].
- [18] S. Singamneni, Y. Lv, A. Hewitt, R. Chalk, T. Wayne and J. David, "Additive Manufacturing for the Aircraft Industry: A Review," Journal of Aeronautics & Aerospace Engineering, February 2019.
- [19] The Boeing Company, "787 Dreamliner Program Fact Sheet," 2007.
- [20] G. Hellard, "Composites in Airbus A Long Story of Innovations and Experiences," Airbus S.A.S., 2016, 2016.
- [21] "State of the art 777X Composite Wing Center completes parts," The Boeing Company, 05 December 2016. [Online]. Available: https://www.boeing.com/777x/reveal/state-of-the-art-777x-composite-wing-center-completes-parts/. [Accessed 22 June 2020].
- [22] T. Catts, "GE turns to 3D printers for plane parts," Bloomberg Businessweek, 2013.
- [23] "Pratt to provide \$8M for UConn manufacturing center," Hartford Business, 04 April 2013.
- [24] G. White, "GE Aviation Plans \$50M 3D Printing Facility to Make Jet Engine Parts," Manufacturing Global, 28 July 2013.
- [25] N. R. Secco and B. S. Mattos, "Artificial Neural Networks Applied to Airplane Design," AIAA Aerospace Sciences Meeting, 2015.
- [26] K. Jules and P. P. Lin, "Artificial neural networks applications: from aircraft design optimization to orbiting spacecraft on-board environment monitoring," National Aeronautics and Space Administration, 2002.
- [27] M. Nørgaard, C. C. Jorgensen and J. C. Ross, "Neural Network Prediction of New Aircraft Design Coefficients," National Aeronautics and Space Administration, Moffett Field, California, 1997.
- [28] "All-new composite wing is lighter, more efficient," The Boeing Company, 2020. [Online]. Available: https://www.boeing.com/commercial/777x/by-

- design/#/composite-wing. [Accessed 23 June 2020].
- [29] D. Gates, "Massive, speedy robots ready to build composite wings for Boeing 777X." The Seattle Times. 05 February 2016.
- [30] J. Klintworth and O. Guillermin, "Integrated Design, Analysis and Manufacturing of Composite Structures," *International SAMPE Technical Conference*, pp. 53-67, 2000.
- [31] M. Marquez, A. White and R. Gill, "A hybrid neural network-feature-based manufacturability analysis of mould reinforced plastic parts," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, pp. 1065-1079, 2001.
- [32] A. Balu, K. G. Lore, G. Young, A. Krishnamurthy and S. Sarkar, "A deep 3d convolutional neural network based design for manufacturability framework," arXiv preprint arXiv:1612.02141, 2016.
- [33] S. Ghadai, A. Balu, S. Sarkar and A. Krishnamurthy, "Learning localized features in 3D CAD models for manufacturability analysis of drilled holes," Computer Aided Geometric Design, pp. 263-275, 2018.
- [34] D. Silver, A. Huang, C. J. Maddison, A. Guez, L. Sifre, G. van den Driessche, J. Schrittwieser, I. Antonoglou, V. Panneershelvam, M. Lanctot, S. Dieleman, D. Grewe, J. Nham, N. Kalchbrenner and Sutsk, "Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search," *Nature*, pp. 484-489, 01 January 2016.
- [35] "AlphaGo," DeepMind, 2020. [Online]. Available: https://deepmind.com/research/case-studies/alphago-the-story-so-far. [Accessed 23 June 2020].
- [36] K. Yonekura, "Framework for design optimization using deep reinforcement learning," Structural and Multidisciplinary Optimization, pp. 1709-1713, 01 October 2019.
- [37] E. Mehr, "Using Reinforcement Learning to Design a Better Rocket Engine," Medium, 09 April 2019. [Online]. Available: https://blog.insightdatascience.com/using-reinforcement-learning-to-design-a-better-rocket-engine-4dfd1770497a. [Accessed 23 June 2020].
- [38] "Environment Report," The Boeing Company, 2016. [Online]. Available: https://www.boeing.com/principles/environment/index.page. [Accessed 24 June 2020].
- [39] "Decarbonisation," Airbus S.A.S., 2020. [Online]. Available: https://www.airbus.com/company/sustainability/environment/decarbonisation.html. [Accessed 23 June 2020].



Comme annoncé par le Ministre Djebbari pendant le Paris Air Forum, le sujet 2021 sera:

Quelle aviation pour le monde de demain?

What Aviation for tomorrow's world?





Avec le généreux soutien de nos sponsors























