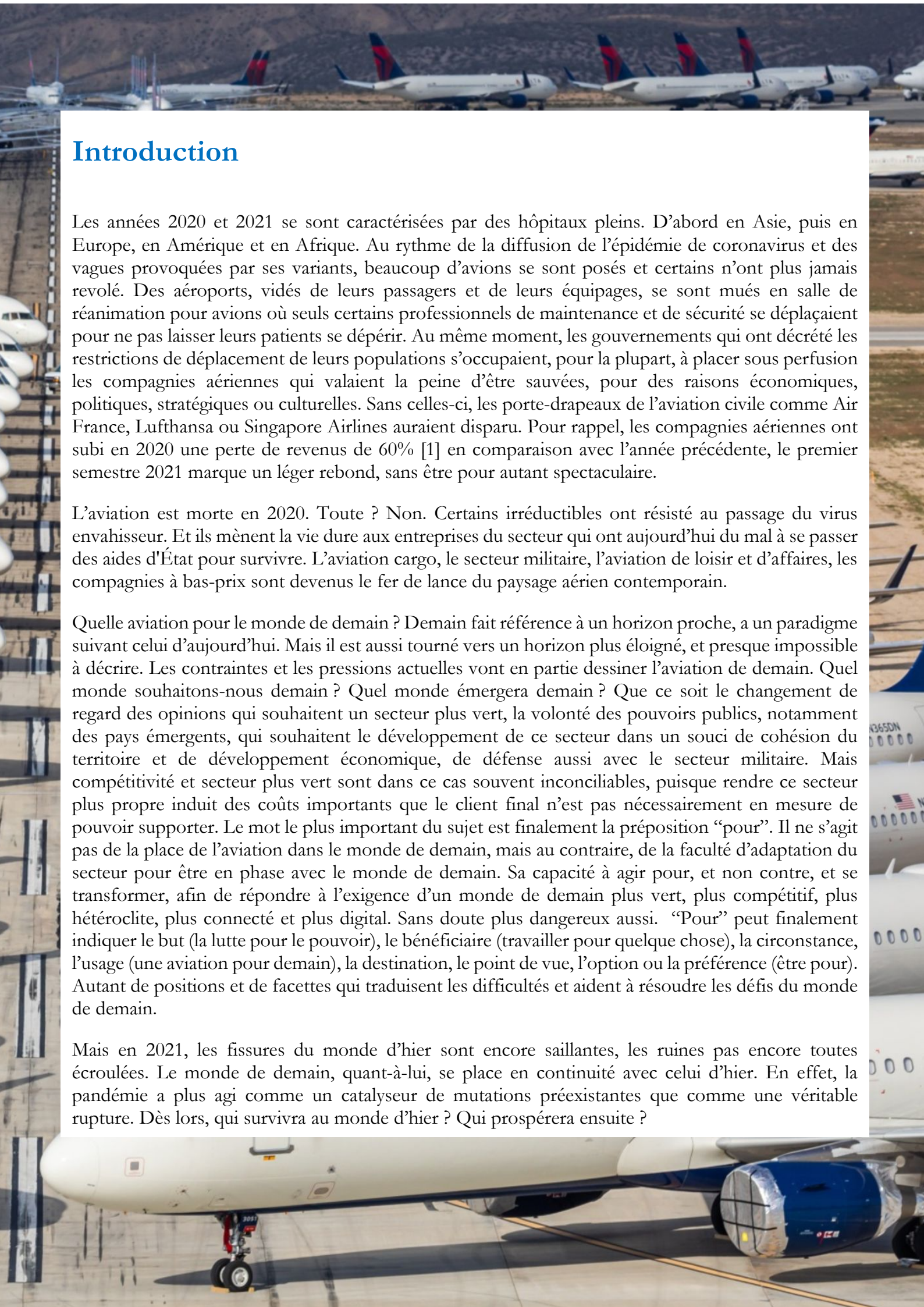




What aviation for tomorrow's world?

*Qui survivra à la grande extinction ?
Qui prospérera ensuite ?*

Usaire Student Award 2021

The background of the page is a photograph of an airport tarmac. In the upper half, a row of Delta Air Lines aircraft is parked at gates, their blue and red tail fins prominent against a clear sky. In the lower half, a close-up of a Delta aircraft's nose and front landing gear is visible. The text is overlaid on a white rectangular area in the center.

Introduction

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

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

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

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

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

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

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

Le modèle low-cost, déjà majoritaire en classe économique sur le marché domestique américain, est très développé en Asie et en Europe. Il existe des compagnies aériennes qui lui sont entièrement dévouées et ce sont elles qui survivent le mieux à la crise du coronavirus à l'instar de Wizz Air qui en a profité pour se développer à Abu Dhabi, ou bien Ryanair en Europe (dont le cours de l'action a retrouvé sa valeur de 2019 [2]) ou encore Indigo en Inde qui a retrouvé 80% de son activité pré-pandémique [3]. Certaines compagnies ont même vu le jour pendant la crise comme Breeze Airways aux États-Unis (qui vise des lignes entre métropoles régionales avec pas ou peu de concurrence) ou Vietravel au Vietnam, ce qui prouve l'intérêt de ce modèle. De plus, l'essor des possibilités de travail à distance a poussé à la désertion des voyageurs d'affaires. Cette chute, estimée sur le long terme entre 24 et 28% par rapport à 2019 amène à des conséquences sur la segmentation des cabines, notamment pour les classes affaires [4].

Ces deux phénomènes, l'un préexistant à la crise, l'autre relativement nouveau, concourent à un changement substantiel dans le transport des voyageurs. La segmentation des cabines et donc la place laissée aux classes économie, premium économie, affaires et premières est amenée à évoluer. La moindre place des voyageurs d'affaires touchera les classes affaires (qui diminueront) et premières (qui disparaîtront presque entièrement). En contrepartie, la classe premium économie gagnera en importance puisqu'elle captera une partie de l'ancienne clientèle des voyageurs d'affaires.

Aujourd'hui 14% de ceux-ci voyagent en premium économie ; ils seront 17% sur un horizon d'ici à 5 ans [4]. De même, la classe économie gagnera en part de marché et se transformera pour adopter un modèle entièrement low-cost afin d'être plus compétitive. Si c'est déjà le cas sur le marché domestique américain, ce n'est pas encore totalement le cas en Europe et en Asie.

L'aviation civile adaptée aux besoins du monde de demain, et ce à court, moyen et long terme est une aviation majoritairement low-cost.

1.2 La montée en puissance du cargo

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

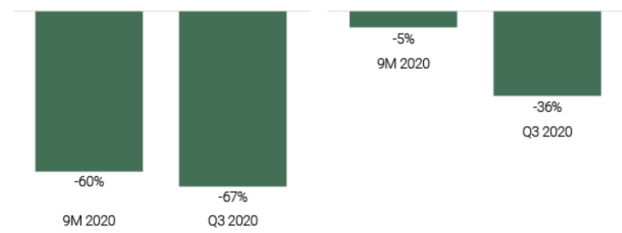
1.3 Qui financera l'aérien pour le monde de demain ?

Deux facteurs seront essentiels pour le monde de demain. S'adapter aux évolutions de la segmentation du marché et proposer un modèle plus compétitif, notamment sur les tarifs proposés aux clients finaux. De

même, pour s'adapter et être en phase avec le monde de demain, le secteur doit se verdier. Et répondre ainsi aux injonctions des opinions publiques européennes, mises en exergue à travers le mouvement flygskam de 2018, et, dans une moindre mesure, asiatiques. En ce sens, les vols pour nulle part proposés en 2021 ont beaucoup été critiqués à Singapour [6]. Cependant, les coûts nécessaires au verdissement du secteur sont considérables (changement de flotte, mise en place de carburants propres) et les seuls clients ne seraient pas en mesure de supporter ce surcoût, surtout pour le court et moyen-courrier pour lesquels ils pourraient se détourner vers d'autres modes de transport.

La question des financements est donc primordiale. Pour faire face aux exigences du monde de demain, il faut surmonter ses coûts. Mais la crise de 2020 et 2021 a placé les compagnies du secteur dans une situation difficile. Leur capacité à emprunter est remise en cause du fait de leurs ratings défavorables. Mais c'est aussi le cas des constructeurs qui sont au centre de la recherche et du développement de l'avion de demain aux coûts de développement conséquent. Ainsi en octobre 2020, Fitch notait Boeing à BBB- (contre A- en janvier 2020) [7] et Airbus à BBB+ [8] pour le crédit long terme. De plus, les nouvelles exigences des banques en termes de compliance peuvent rendre le financement corporate plus difficile, ou du moins plus coûteux. Toutefois, de nouveaux types de crédit ont été créés, comme le crédit à impact positif qu'a souscrit Jetblue auprès de BNP Paribas en février 2020 et qui conditionne les taux aux performances environnementales de la compagnie [9]. Reste à savoir si ce type de crédit va survivre dans un horizon proche. Mais il a de grandes chances de se développer dans un horizon lointain auprès d'entreprises soucieuses d'entretenir leur responsabilité sociale et environnementale. Le risque systémique est aussi important et la consolidation du tissu économique du secteur aérien est fondamentale afin de maintenir sa capacité d'action. Or les difficultés auxquelles font

face les sous-traitants ou bien les loueurs (Figure 1) par ricochet peuvent faire craindre un risque de chute par domino. L'action et les aides des pouvoirs publics seront donc toujours d'actualité dans le monde de demain, au moins dans un horizon proche, afin d'éviter des faillites en cascade. **Les prêts gouvernementaux, les garanties de prêts ou bien des impôts différés devront être reconduits pour permettre le financement de l'avion adapté au monde de demain.**



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

Figure 1 : Déclin de revenu des compagnies aériennes et des loueurs

1.4 L'aérien fait-il encore rêver ?

Enfin, la place culturelle de l'aviation dans le monde de demain représente un défi mondial. S'il est faux d'affirmer que l'aviation ne fait plus rêver, son aura et sa réputation se sont en revanche sérieusement érodées. Particulièrement en Europe. Comment soutenir le secteur aérien dans le monde de demain dans un continent où il est mal vu ? Les gouvernements ont volé au secours de leurs compagnies (avec contreparties). Y aura-t-il demain une volonté politique de sauver un secteur perçu par une partie importante de la population comme polluant et socialement discriminant, malgré les emplois à la clé ? La question est taboue aujourd'hui, il y a de grandes chances qu'elle se pose demain. Dans le monde d'hier l'aviation était inspirante et d'autres secteurs industriels utilisaient ses codes jusqu'au quotidien. Les affichages tête haute (Head-Up display) des voitures sont inspirés de l'aviation militaire, le secteur de l'horlogerie a beaucoup profité aussi de cette proximité dans leurs campagnes de communication à l'image de Cartier et de sa montre Santos Dumont.

Aujourd'hui le secteur aérien apparaît, et sans doute faussement, à la traîne. Ainsi une étude de la banque suisse UBS en 2020 estime que 20% des répondants ont renoncé à prendre l'avion pour des raisons environnementales [10]. **Beaucoup de relais de communication des compagnies sont épuisés sur ce sujet. Quelle aviation pour le monde de demain ? Celle que l'opinion publique admirera et qui répondra à la feuille de route politique et économique des pouvoirs publics.**

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

2.1 Quelle métamorphose pour la conception aéronautique de demain ?

Grâce aux avancées technologiques de l'informatisation, des moteurs et de l'aérodynamisme, un avion actuel consomme 30% de carburant en moins qu'un avion des années 1990 [11]. Néanmoins, l'architecture d'un avion sous forme d'un fuselage avec des ailes n'a pas changé depuis les débuts de l'aviation avec le Wright Flyer. Cette architecture atteint désormais ses limites en termes d'optimisation de l'aérodynamisme. Un avion contemporain reste un moyen de transport polluant et bruyant, à la fois pour les riverains et les passagers. Bien que l'aviation représente en 2019 environ 4% des émissions mondiales de CO₂, elle représentera 25% des émissions d'ici 2050 en tenant compte de la croissance à long terme du trafic si aucune mesure n'est prise [12]. Pour y remédier, des initiatives sont continuellement adoptées par les industriels pour réduire la consommation et diminuer les émissions sonores et de polluants. Un Airbus A320NEO émet ainsi 88 dB contre 101 dB pour un Boeing B727 datant de 1964 [13].

Quel carburant pour l'aviation du monde de demain ?

Le kérosène actuel (techniquement appelé Jet-A ou Jet-A1) est émetteur de gaz à effet

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

L'industrie aéronautique se penche depuis quelques années sur des carburants d'aviation durables (CADs), plus respectueux de l'environnement du fait de leur production et de leur utilisation. Ceux-ci sont produits grâce au recyclage d'huiles usagées et de déchets et émettent également moins de dioxyde de soufre que des carburants traditionnels en raison de leur pureté. Leur utilisation est ainsi amenée à augmenter au niveau mondial. La prochaine étape pourrait être un vol entièrement effectué grâce au CADs d'ici quelques années.

Néanmoins ces carburants restent onéreux à produire et leur production est limitée à l'heure actuelle par la capacité de recyclage et de transformation de déchets en carburant au niveau mondial. À titre d'exemple, une loi impose au minimum 0.5% de CADs sur tous les vols au départ de la Norvège depuis 2019. La compagnie aérienne SAS a annoncé que cette régulation représente 3 millions d'euros de coûts supplémentaires par an [15]. À prix égal, l'utilisation de CADs à 100% représenterait alors un coût additionnel annuel de 600 millions d'euros pour la compagnie aérienne.

D'autres mesures sont également prises par l'industrie aéronautique pour limiter les émissions tant dans le domaine de la propulsion que dans celui des opérations aériennes. L'architecture des moteurs contemporains consiste à absorber une plus grande quantité d'air à une vitesse plus faible, contrairement aux moteurs plus anciens qui absorbaient une quantité d'air plus faible à une vitesse plus élevée. Cette optimisation du rapport de dérivation permet une consommation de carburant moindre ainsi qu'une réduction des émissions.

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

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

2.2 Quel intérêt pour les technologies de rupture de demain ?

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

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

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

L'hydrogène pour le monde de demain

À l'horizon 2035, certaines technologies, notamment l'hydrogène, vont être mises en

place graduellement afin de démontrer leur utilité pour l'aviation de demain. En ce sens, des projets sont mis en place, notamment d'Airbus pour implémenter l'hydrogène pour l'Auxiliary Power Unit (APU – petit moteur intégré dans l'empennage afin de permettre une alimentation électrique et hydraulique lorsque les moteurs sont éteints [17]). Cela permettra de démontrer la fiabilité de ces technologies avant d'envisager l'exploitation d'avions entièrement à hydrogène. Avec le projet ZEROe, Airbus étudie ainsi différents concepts d'avion à hydrogène, et différentes technologies de propulsion et d'aérodynamisme [18].



Figure 2 : Airbus ZEROe

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

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

Son arrivée crée de nouvelles contraintes d'ingénierie, de production et de coûts. L'hydrogène devra être transporté et/ou stocké soit sous pression à 700 bars soit à -250°C ce qui nécessitera des matériaux spécifiques résistant à ces températures, donc plus lourds. Des pompes devront également assurer le maintien des faibles températures

dans les réservoirs durant le vol ainsi que tenir compte du risque de « vapour lock ». Ce phénomène, engendré par une bulle de vapeur qui bloque le débit de carburant, peut représenter un problème dans des pays chauds.

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

Avec les technologies actuelles, l'hydrogène ne peut pas être stocké dans les ailes contrairement au kérosène. Dès lors, deux possibilités : la première est de garder le design aérodynamique actuel et remplacer une partie de la cabine et des soutes avant et arrière par des réservoirs. Cela limitera la charge utile (passager et cargo) et créera de nouvelles contraintes liées au centre de gravité de l'appareil à mesure que celui-ci consommera du carburant d'un réservoir. Une solution à ce problème pourrait être l'utilisation simultanée des réservoirs avant et arrière afin de maintenir un centre de gravité stable. Il reste à savoir si les passagers et les membres

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

La production et la distribution de l'hydrogène sur les aéroports, domaine

stratégique, devra être sécurisée, en particulier dans des pays en développement. Sa montée en puissance permettrait de diminuer les coûts de productions, actuellement relativement élevés (3-6€ / kg contre un prix de vente de 0.61€ /kg pour le JET-A1 [21]) Différents procédés de production existent actuellement mais aucun n'est intrinsèquement écologique, car ils émettent également des gaz à effet de serre. Il serait donc illusoire de présenter un avion à hydrogène comme étant écologique, si son carburant a été produit par une gazéification de charbon, par exemple. Si aujourd'hui chaque avion était propulsé à l'hydrogène, les émissions totales de CO₂ liés à la production de l'hydrogène seraient supérieures aux émissions de la flotte mondiale liées au kérosène [22].

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

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

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

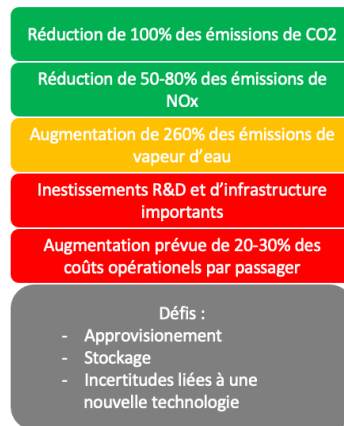


Figure 3 : Bénéfices et défis de l'hydrogène

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

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

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

L'autonomie pour l'optimisation des flux de demain

L'intelligence artificielle, combinée aux innovations en matière de télécommunications (5G, 6G) va permettre d'opérer des véhicules autonomes en zone aéroportuaire et donc d'optimiser l'acheminement de marchandises à toute heure et par tout temps. Une implémentation graduée à l'horizon 2040 peut être envisagée tandis qu'il est raisonnable de prévoir des aéroports et des transports de marchandises complètement autonomes contrôlés par de l'IA d'ici 2060. Des tests ont déjà eu lieu, par exemple de chargement de bagages à Toulouse en 2019 [23]. Ces tracteurs et voitures autonomes devront être intégrés de manière sûre sur les aéroports. L'objectif de la sécurité n'est pas d'éliminer tout risque potentiel, mais maintenir le niveau de risque à un niveau acceptable (tant en termes de risques que de coûts) pour la majorité des parties prenantes. Un problème majeur dans la définition de la sécurité en ce qui concerne l'autonomie est qu'en tant que technologie relativement nouvelle, elle a des conséquences potentiellement imprévisibles qui doivent être intégrées dans le système déjà développé, complexe et sûr qu'est l'aviation (par exemple, que faire lorsqu'un véhicule autonome ne suit pas sa trajectoire programmée et se dirige vers un taxiway et/ou une piste ?).

L'intelligence artificielle pour l'expérience passager de demain

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

L'introduction de l'intelligence artificielle (IA) et de la reconnaissance faciale dans les terminaux va permettre une expérience plus fluide pour le passager, qui sera reconnu dès son entrée dans le terminal. Montrer son passeport, carte d'embarquement et certificat sanitaire, ne seront plus nécessaires. Ceux-ci seront à terme voués à disparaître sous leur forme physique. L'intelligence artificielle permettra de réguler les flux et donc de diminuer l'attente ainsi que le nombre de personnel aéroportuaire requis. Les USA ainsi que la Chine sont pionniers dans ce domaine, avec des phases de test à Washington, Atlanta ainsi qu'à Beijing Daxing, tandis que l'Europe est plus en retrait notamment à cause de la frilosité des opinions publiques européennes par rapport à l'utilisation de ces données et à la protection de la vie privée. Il reste néanmoins des contraintes liées à l'imprédictibilité de l'intelligence artificielle qui est un frein pour sa certification dans le domaine aéroportuaire.

Responsabilité juridique

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

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

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

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

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

Les compagnies aériennes européennes, ainsi que les constructeurs aéronautiques sont doublement touchés par le défi écologique et la pression sur les prix. Leur intérêt est donc de verdir leur business model tout en maintenant leurs niveaux de coût à un niveau équivalent à celui pré-COVID pour être en phase avec le monde de demain. Des mesures à court terme tels que des optimisations de consommation carburant grâce à l'intelligence artificielle permettent à la fois de diminuer les coûts et les émissions, mais à un pourcentage marginal (2-5%) [25]. De même le dispositif CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation – achat de crédits carbone), permet la compensation carbone sur les vols internationaux des compagnies aériennes qui participent au programme. Au niveau opérationnel, des optimisations de trajectoires verticales comme une descente continue à la place de paliers, ainsi que le programme Free Route Airspace (FRA) qui consiste à permettre les trajectoires horizontales plus directes se mettent en place en Europe.

A long terme, l'introduction de technologies de rupture va se révéler coûteuse tant pour les compagnies, que pour les constructeurs, que pour les aéroports. Le processus de certification sera plus long car ces nouvelles technologies ne sont pas éprouvées. De plus, une nouvelle chaîne d'approvisionnement devra être mise en place pour les nouveaux carburants, que ce soit des CADs, de l'hydrogène ou de l'électrique. La flexibilité des utilisateurs de nouvelles technologies sera

réduite du fait de leur manque de disponibilité à l'échelle mondiale initialement. **Néanmoins, si ces acteurs tiennent leurs promesses en termes d'écologie, cela leur permettrait de recréer du rêve à partir de ces nouvelles technologies de sorte que l'aérien devienne de nouveau populaire et admiré.**

3.2 Le défi écologique des nouveaux modes de transport

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

Les préoccupations des riverains aéroportuaires liées au bruit sont amenées à s'intensifier avec la croissance du trafic à long terme et ne sera pas résolue par l'avion à hydrogène. Il est donc nécessaire que l'aérien réponde à ces préoccupations pour le monde de demain. De plus, la création de couloirs aériens à basse altitude spécifiques pour les drones de transport de marchandises mais aussi de personnes (comme le Volocopter de deux places) devrait aggraver le problème des nuisances sonores et visuelles.

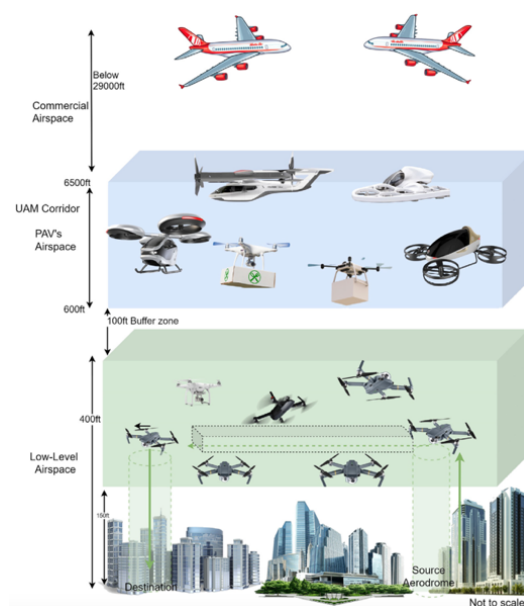


Figure 4 : La nouvelle segmentation de l'espace aérien [26]

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

3.3 Un Boom de compétitivité

En Inde, en Asie de l'Est et en Afrique, l'émergence d'une classe moyenne entraîne un développement fort des marchés intérieurs (notamment indiens et chinois) ainsi que des vols moyen-courrier internationaux. Une croissance des compagnies aériennes low-cost (par exemple Indigo, et Air Asia) préfigure le monde de demain. La croissance du fret aérien avec une concurrence accrue entre acteurs, notamment en Asie amènera à une pression sur les prix. L'émergence de startups de livraison par drone concurrencera les services de livraison plus traditionnels dans les grandes villes. L'utilité des drones peut aussi être humanitaire, à l'exemple de Zipline au Rwanda qui propose la livraison de médicaments à des dispensaires difficiles d'accès par la route.

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

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



Figure 5 : Prototype de Boom Technology

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

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

Le secteur militaire est soumis à des pressions de compétitivité et de transition écologique d'une intensité moindre. La compétition dans le domaine militaire se situe principalement au niveau de l'innovation tactique afin de garder un avantage sur potentiel ennemi. Pour les grandes puissances (USA, Chine, Russie, France, Royaume-Uni, Israël) ainsi que les puissances émergentes (Inde, Turquie), l'objectif est également d'assurer leur autonomie stratégique afin de ne pas ou peu dépendre d'une autre puissance en cas de conflit.

La montée en puissance militaire de la Chine est amenée à remettre en cause l'hégémonie technologique américaine. L'approche qui consiste à investir et développer conjointement des technologies civiles et militaires, notamment dans le domaine de l'intelligence artificielle est une stratégie clé

dans la montée en puissance chinoise à l'horizon 2050 (par exemple le développement de drones de combat entièrement autonomes).

L'arrivée de nouveaux types de guerres hybrides au début des années 2010 a marqué un tournant. L'utilisation intensifiée de cyberattaques doit amener à repenser la sécurisation et la dépendance de données à la fois sensibles et non-sensibles qui peuvent être

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



Figure 6 : Ravitaillement par drone © Boeing

Dans le monde de demain, l'autonomisation des guerres à travers l'utilisation accrue de drones possédant à

terme une intelligence artificielle (comme en Libye et en Arménie en 2020) doit amener les pays à repenser l'éthique de guerre et la place de ces drones au sein de leur armée.

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

Conclusion

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

4 Références

- [1] J. Bouwer, S. Saxon, and N. Wittkamp, "Five profound shifts in the post-pandemic aviation sector," 2021. Accessed: Apr. 11, 2021. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/back-to-the-future-airline-sector-poised-for-change-post-covid-19>.
- [2] "RYANAIR HLDGS Cours Action RYA, Cotation Bourse LSE - Boursorama." <https://www.boursorama.com/cours/1uRYA.L/> (accessed Jul. 18, 2021).
- [3] A. Shah and J. Freed, "IndiGo tightens grip in India and targets growth abroad | Reuters," *Reuters*, Jan. 21, 2021. <https://www.reuters.com/article/interglobe-strategy-focus-idUSKBN29P2WH> (accessed Jul. 18, 2021).
- [4] A. Böhm and D. Nufer, "The effect of the COVID-19 pandemic on the future of business travel after the crisis," 2021.
- [5] "SF Airlines maps out ongoing and future growth plans - Payload Asia," *Payload Asia*, Jun. 28, 2021. <https://www.payloadasia.com/carriers/sf-airlines-maps-out-ongoing-and-future-growth-plans/> (accessed Jul. 18, 2021).
- [6] C. Tan, "Flights to nowhere: Environmental groups concerned about carbon emissions after SIA's reported plans - The Straits Times," *Straits Times*, Sep. 15, 2020. <https://www.straitstimes.com/singapore/environment/environmental-groups-concerned-about-carbon-emissions-associated-with-flights> (accessed Jul. 18, 2021).
- [7] "The Boeing Company Credit Ratings :: Fitch Ratings," *Fitch Ratings*. <https://www.fitchratings.com/entity/the-boeing-company-80090948> (accessed Jul. 18, 2021).
- [8] "Fitch Downgrades Airbus to 'BBB+'; Outlook Negative," *Fitch Ratings*, Nov. 04, 2020. <https://www.fitchratings.com/research/corporate-finance/fitch-downgrades-airbus-to-bbb-outlook-negative-04-11-2020> (accessed Jul. 18, 2021).
- [9] AFP, "La compagnie aérienne JetBlue s'engage dans la finance verte avec BNP Paribas," *Le Figaro*, Feb. 24, 2020. <https://www.lefigaro.fr/flash-eco/la-compagnie-aerienne-jetblue-s-engage-dans-la-finance-verte-avec-bnp-paribas-20200224?web=1&wdLOR=cE26C333B-B8E1-FB49-B4CE-CDF469617A5D> (accessed Jul. 18, 2021).
- [10] C. Chaigneau, "Flygskam : l'écart entre réalité et perception," *La Tribune*, Feb. 11, 2020. <https://objectif-languedoc-roussillon.latribune.fr/economie/2020-02-11/pollution-par-l-avion-une-etude-pointe-l-ecart-entre-realite-et-perception-839465.html> (accessed Jul. 18, 2021).
- [11] Finnair, "Environmental Report," 2006.
- [12] G. G. Fleming and I. de Lepinay, "Environmental Trends in Aviation to 2050," 2019.
- [13] Sydney Airport, "Noise Management Masterplan 2033."
- [14] IATA, "Aviation Fuel Quality Requirements for Jointly Operated Systems," 2019.
- [15] L. Karagiannopoulos, "Airlines get ready for jet biofuel take-off in Norway," *Reuters*, Nov. 21, 2019.
- [16] IATA, "Aircraft Technology Roadmap to 2050," 2018.
- [17] J. A. Stockford, C. Lawson, and Z. Liu, "Benefit and performance impact analysis of using hydrogen fuel cell powered e-Taxi system on A320 class airliner," *Aeronautical Journal*, vol. 123, no. 1261, pp. 378–397, Mar. 2019, doi: 10.1017/aer.2018.156.
- [18] "ZEROe - Hydrogen - Airbus." <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe.html> (accessed Jul. 17, 2021).
- [19] A. Gomez and H. Smith, "Liquid hydrogen fuel tanks for commercial aviation: Structural sizing and stress analysis," *Aerospace Science and Technology*, vol. 95, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.ast.2019.105438.
- [20] S. Rondinelli, R. Sabatini, and A. Gardi, "Challenges and Benefits offered by Liquid Hydrogen Fuels in Commercial Aviation," *Practical Responses to Climate Change. Engineers Australia Convention 2014 (PRCC 2014)*, 2014, doi: 10.13140/2.1.2658.9764.
- [21] "IATA - Fuel Price Monitor." <https://www.iata.org/en/publications/economics/fuel-monitor/> (accessed Jul. 17, 2021).
- [22] L. Sherry and T. Thompson, "Primer on Aircraft Induced Clouds and Their Global Warming Mitigation Options," *Transportation Research Record*, vol. 2674, no. 11, pp. 827–841, Sep. 2020, doi: 10.1177/0361198120951188.
- [23] "A world first - an autonomous baggage tractor tested in real conditions | Air France - Corporate." <https://corporate.airfrance.com/en/press-release/world-first-autonomous-baggage-tractor-tested-real-conditions-0> (accessed Jul. 17, 2021).
- [24] CAA, "Safety and Airspace Regulation Group Airside Safety Management CAP 642," Nov. 2018. [Online]. Available: www.caa.co.uk.
- [25] "SkyBreathe Fuel Management Software - OpenAirlines." <https://www.openairlines.com/fuel-management-software/> (accessed Jul. 17, 2021).
- [26] R. Shrestha, I. Oh, and S. Kim, "A Survey on Operation Concept, Advancements, and Challenging Issues of Urban Air Traffic Management," *Frontiers in Future Transportation*, vol. 2, Apr. 2021, doi: 10.3389/ffutr.2021.626935.
- [27] J. Bachman, "United Airlines Bets on Supersonic Future With \$3 Billion Boom Jet Order - Bloomberg," *Bloomberg*, Jun. 03, 2021. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-06-03/united-bets-on-supersonic-future-with-3-billion-boom-jet-order> (accessed Jul. 18, 2021).
- [28] T. Schumacher, "F-35 & Big Data : épée de Damoclès pour la France et l'Europe ?," *Revue Défense Nationale*, vol. N° 810, no. 5, pp. 35–40, May 2018, doi: 10.3917/RDNA.810.0035.