

Elias BOUZAR &
Clément GARNIER

Rêvons, Réinventons l'Aviation

What Aviation for tomorrow's World?

Usaire Student Awards

2021





Introduction

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

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

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

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

Les débuts de l'aviation ont incarné l'esprit pionnier, qui est cette capacité à se relier au futur en s'affranchissant du passé. Chaque bond dans le ciel puis chaque kilomètre parcouru demandait un effort considérable. Mais c'est en refusant de croire que c'était impossible que l'on est passé du Flyer au Concorde. Après des décennies d'optimisation industrielle, le secteur doit se remettre en question et formuler de nouvelles visions pour assurer sa pérennité. Les prochains appareils seront disruptifs par leurs formes et leurs motorisations.

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

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

Dans cette réflexion sur le monde de demain, nous nous demanderons : *quels sont les leviers qui permettront d'assurer la durabilité de l'aviation civile au cours du prochain siècle ?*

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

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

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

SOMMAIRE

Introduction	1
I. Le monde de demain	2
II. L'aérien face à sa croissance	4
III. Les leviers de l'aviation	5
A. Les levier politico-économiques	5
B. Les leviers technologiques	7
IV. Quelle vision pour la défense ?	9
A. Le combat de demain	9
B. La souveraineté spatiale	10
Conclusion	10
Bibliographie	11

I. Le monde de demain

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

1.1 Vers une augmentation du trafic mondial

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

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

Les prévisions du marché de livraisons d'appareils commerciaux faites par Boeing (2020) et Airbus (2019) viennent confirmer cette tendance en misant sur une demande de plus de 40 000 appareils sur 20 ans dont presque la moitié en Asie-Pacifique. [3]

1.2 L'ère du changement permanent

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

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

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

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

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

1.3 Quelle géopolitique dans le monde de demain ?

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

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

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

1.4 La feuille de route du secteur

La feuille de route du secteur aérien est désormais bien tracée (Fig 1) et se séquencera en trois phases qui traiteront du renouvellement des flottes par des avions modernes, du développement progressif des biocarburants SAF (Sustainable Aviation Fuel), des propulsions disruptives et de leur mise en service.



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

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

La pandémie de la Covid-19 a très fortement ébranlé le segment des voyages d'affaires pour les compagnies aériennes traditionnelles. À titre d'exemple, celui-ci représente en France 20% des voyages aériens mais il contribue à hauteur de 55 à 75% des profits des compagnies. [6]

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

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

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

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

Il est possible que le télétravail et la visioconférence trouvent une place plus importante dans le monde de demain, mais la substitution des voyages d'affaires pour certains types de déplacements professionnels provoquerait des impacts économiques conséquents à long terme. Environ 40% des déplacements aériens professionnels pourraient ne pas être rétablis à long-terme.

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

1.6 Les atouts de l'aviation privée

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

L'évolution grandissante du marché général de l'aviation, des classes moyennes très aisées et ultra-riches des pays en voie de développement incite à croire que le secteur connaîtra une croissance des vols et de sa flotte durant les prochaines années.

1.7 L'aviation privée comme démonstrateur du voyage décarboné

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

Les premiers appareils à propulsions électrique et hybride auront la taille d'un jet privé léger. C'est l'occasion pour le secteur de devenir pionnier du transport décarboné sur le segment des vols inférieurs à mille kilomètres qui constitue une forte part des vols privés et d'affaires. La promotion d'une utilisation plus verte de l'aviation privée et d'affaires actuelle permettrait de redynamiser les aéroports régionaux et de montrer la voie à l'aviation civile.

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

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

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



Projet d'avion régional à propulsion électrique – Aura Aero

II. L'aérien face à sa croissance

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

Les optimisations technologiques ont permis de réduire drastiquement les émissions de CO₂ du secteur. Cependant, les leviers technologiques traditionnels (réduction de la masse, de la traînée aérodynamique, amélioration de l'efficacité des moteurs) ne suffisent plus à compenser la croissance du secteur qui devrait se poursuivre.

L'Accord de Paris signé en 2015 a pour objectif de limiter le réchauffement climatique à +2°C, si possible à 1,5°C par rapport à l'époque préindustrielle.

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

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

2.1 Revoir les hypothèses de trafic ?

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

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

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

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



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

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

Face à ce défi de société qu'est le changement climatique, il est important de donner du sens à l'aviation et de la rendre durable. Pour l'industrie, la réponse technologique doit permettre d'éviter la décroissance. On se trouve ici dans un débat entre progrès technologique et décroissance.

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

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

2.2 Une proposition intenable au niveau international

Le transport aérien, international par nature, requiert un consensus de tous les États (à minima européens dans un premier temps) pour mettre en œuvre sa décarbonation.

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

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

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

III. Les leviers de l'aviation

A. Les leviers politico-économiques



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

3.1 La ligne politique à tenir

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

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

3.2 Booster l'écosystème industriel des carburants alternatifs

Tout d'abord, les biocarburants SAF (Sustainable Aviation Fuels) sont nécessaires pour réduire les émissions de l'aviation à moyen et long terme et assurer sa durabilité.

Ils ne rentrent pas en concurrence avec l'alimentation et sont produits à partir du recyclage de certains déchets ménagers, de résidus agricoles ou d'algues. Les SAF ainsi que les carburants de synthèse durables permettent des gains d'émission pouvant aller jusqu'à 80 % sur l'ensemble du cycle de vie par rapport au kérosène d'origine fossile (CO₂ et forçage radiatif – source IATA).

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

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

Un soutien des autorités internationales est nécessaire pour aider ce marché à accélérer sa mise en route. La sécurisation et le développement d'un approvisionnement énergétique décarboné conséquent pourrait être

l'occasion de partenariats et d'investissements stratégiques accompagnés d'une stabilité en terme de réglementation.

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

3.3 Quelle répartition des approvisionnements énergétiques ?

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

Quant à l'hydrogène et les biocarburants, des arbitrages entre secteurs devront être faits. Il s'agira de privilégier les approvisionnements de ces nouvelles énergies pour les secteurs ayant le moins d'alternatives bas carbone.

3.4 Accélérer la certification

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

Les biocarburants

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

L'hydrogène

La technologie dihydrogène impose des contraintes fortes dans la mise en place de son écosystème associé : intégrer la supply chain de l'hydrogène dans les opérations aéroportuaires mais également dans les avions demande des garanties fortes en terme de gestion de la sécurité. Le concept d'aile volante qui répond le mieux à cette technologie demandera de revoir les standards actuels de certification.

Les procédures opérationnelles

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

3.5 Surveiller l'évolution des programmes

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

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

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

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

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

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

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

3.6 Faire de la recherche un secteur stratégique et attractif

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

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

3.7 Une cryptomonnaie aérienne

Difficile d'aborder le monde de demain sans intégrer l'hypothèse d'une démocratisation des cryptomonnaies au sein de l'économie mondiale. Pour rappel, une cryptomonnaie, à l'exemple du Bitcoin, est une monnaie numérique internationale, exploitée via un réseau informatique décentralisé et fonctionnant sans nécessité de banque centrale grâce au principe de *blockchain**.

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

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

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

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

B. Les leviers technologiques



Drone taxi Volocity – Volocopter

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

3.8 Architecture et systèmes propulsifs

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

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

Safran a déjà lancé plusieurs programmes avec Airbus et Ariane Group sur l'étude des technologies de distribution et modes de propulsion de l'hydrogène pour les futurs avions commerciaux via le projet HYPERION intégré dans le Plan de soutien à l'aéronautique en France. Une étude est également menée avec Airbus et l'ONERA sur l'impact des traînées de condensation spécifiques aux nouveaux carburants.

Le motoriste a présenté en juin 2021 son démonstrateur technologique *CFM RISE* qui sera développé en partenariat avec l'américain GE. Il permettra de prouver la viabilité d'un moteur totalement disruptif. Celui-ci pourra fonctionner à la fois avec 100% de carburants alternatifs et une consommation réduite de 20% par rapport au moteur LEAP sorti en 2015 mais aussi avec de l'hydrogène. [19]

Le développement de la production d'hydrogène à échelle mondiale sera crucial pour la mise en service de ces avions. Cela implique de modifier sa chaîne de valeur et de promouvoir la recherche sur des modes de production neutres en carbone, sur son stockage et son transport à grande échelle.

Les avancées technologiques actuelles ne permettent pas un saut direct vers un *hydrogène "vert"** totalement décarboné avec une rentabilité économique acceptable. Une phase transitoire par un *hydrogène "bleu"* qui amoindrit l'impact environnemental tout en offrant la capacité économique de maturation technologique sera nécessaire. [20]

Il est possible qu'une percée scientifique, une innovation ou un évènement fasse basculer le futur de la propulsion aéronautique. La fusion nucléaire présentée en 2014 par Lockheed Martin pourrait être un exemple [21], ou les réactions nucléaires à basse énergie en utilisant de l'hydrogène (déposé par Airbus en 2017). [22] En revanche, de considérables progrès technologiques sont nécessaires avant d'envisager le développement de telles solutions. Dans le domaine expérimental, des propulsions ioniques (par exemple les travaux du MIT) [23] et plasma (projet ACHEON français [24], ou de l'institut de technologie de Wuhan[25]) sont également étudiées pour des applications à plus long terme.

3.9 Les prochains modes de transport

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

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

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

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

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

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

Dans un autre registre, le Concorde a laissé derrière lui une nostalgie du vol supersonique. Depuis, de nombreux entrepreneurs se sont alors lancés le défi de faire revivre ce secteur.

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

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

3.10 L'optimisation du trafic aérien

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

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

L'optimisation des trajectoires de vol en fonction des paramètres météorologiques dans le cas par exemple des évitements d'orages permettra de réduire l'empreinte environnementale. Avec le projet PureFlyt (FMS - Flight Management System), Thales tend à réduire l'empreinte environnementale des avions de 10% d'ici 2023. [26]

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

3.11 L'industrie 4.0

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

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

Les puissances de calcul progresseront de manière exponentielle et l'arrivée d'ordinateurs quantiques qui permettront d'optimiser et de réduire certains temps de conception soumis aux capacités de calculs actuelles, par exemple dans le structurel ou l'aérodynamique. La fabrication additive permettra de concevoir des pièces plus légères avec moins de matières et évitant les pertes de matériau.

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

3.12 Les émissions négatives applicables à l'aviation ?

Une solution pour atteindre la neutralité carbone du secteur aérien est la compensation carbone, voire la capacité d'absorber plus de carbone qu'il n'en consomme. Les technologies de Capture et Séquestration du CO₂ (CCS - Carbon Capture & Storage) existent aujourd'hui au niveau industriel et ouvrent différentes possibilités dont les émissions négatives (NET – Negative Emission Technologies).

La séquestration de CO₂ par la plantation d'arbres se fait progressivement sur plusieurs décennies. Elle devra alors être couplée avec le déploiement à grande échelle de la méthode de compensation instantanée CCS, essentielle dans le monde instable de demain.

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

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

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

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

IV. Quelle vision pour la défense ?

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

A. Le combat de demain

4.1 Le programme SCAF

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

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

Au sein du SCAF, s'inscrit le projet européen NGWS (Next Generation Weapon System) visant à poursuivre le développement de la défense européenne, à renforcer sa souveraineté et à pérenniser son industrie de défense. Les grands piliers du NGWS sont menés par Dassault aviation (France), Airbus Defence & Space (Allemagne) et Indra (Espagne). [29]

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

L'objectif est de créer un maillage de systèmes opérationnels militaires inédits combinant les technologies terre, mer, air et espace, tout en permettant une interopérabilité entre nations alliées afin d'opérer conjointement sur une mission. [30]

4.2 La place de l'innovation

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

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

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

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

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

4.3 La relation homme-machine

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

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

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

4.4 Une hausse constante des coûts de l'armement

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

**Guerre cognitive* : (ou guerre de l'information) consiste en la manipulation ou l'altération des symboles et de la connaissance - 3AF

4.5 Décarbonation des armées : un enjeu de souveraineté

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

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

- Recours aux biocarburants pour les flottes militaires;
- Développement de la culture de sobriété énergétique et meilleure maîtrise des consommations;
- Augmentation des entraînements en simulation virtuelle en complément de l'activité réelle tout en garantissant le niveau de réalisme et de performance opérationnelle;
- Renforcement de l'efficacité énergétique des bases aériennes;
- Introduction des exigences d'écoconception et d'efficacité énergétique aux programmes d'armement sur l'ensemble de leur cycle de vie.

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



Vue d'artiste – Next Generation Fighter

B. La souveraineté spatiale

4.6 L'Espace, un point tournant pour la Défense

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

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

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

4.7 Le cargo spatial

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

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

Conclusion

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

" Soyons le SpaceX de l'aviation commerciale "

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



Dassault Falcon 10X

Bibliographie

Le monde de demain

- [1] Future of aviation Industry 2035 – IATA - 2018
- [2] 20 Year Forecast – IATA 2021-2039
- [3] Boeing Commercial Market Outlook 2020-2039 – Boeing 2020
- [4] « Extinctions, pénurie d'eau, exodes... L'alerte apocalyptique du GIEC sur le changement climatique » – Article de Libération sur le pré-rapport du GIEC 2022 – Juin 2021
- [5] Think Paper #10 – Flying the « perfect green Flight » – Eurocontrol – Avril 2021
- [6] Les carnets de la chaire Pégase - Voyages d'affaires et visioconférence : quel avenir pour le transport aérien ? – Juin 2021
- [7] Entretien Teams – Alexandre Perfetti – Salesmanager Privatefly Saint Albans – Juin 2021
- [8] GAMA – Business aviation Commitment on Climate Change : an update
- [9] Eviation revoit radicalement le dessin de l'Alice – Air & Cosmos – Juillet 2021
- [10] Aura Aero prépare un avion de transport régional électrique – Avril 2021
- [21] Brevet Lockheed Martin Corp – US20180047462A1 - 2014
- [22] Brevet Airbus Defence and Space EP3047488B1 - 2017
- [23] L'incroyable prototype d'avion à propulsion ionique du MIT a fait son premier vol – Sciences & Avenir – 2018
- [24] Aerial Coanda High Efficiency Orienting-jet Nozzle (ACHEON) – Commission Européenne
- [25] Jet propulsion by microwave air plasma in the atmosphere – 2020
- [26] Thales: how technology can deliver short-term reductions in global CO2 emissions – Juillet 2021
- [27] IEA – Carbon capture, utilisation and storage – site web
- [28] Role of Carbon Capture, Storage, and Utilization to Enable a Net-Zero-CO2-Emissions aviation Sector - Viola Becattini, Paolo Gabrielli, and Marco Mazzotti - 2021

L'aviation face à sa croissance

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

Leviers politico-économiques

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

Leviers technologiques

- [19] GE Aviation et Safran lancent un programme de développement technologique innovant pour des moteurs durables et prolongent leur partenariat CFM jusqu'en 2050
- [20] La course à l'hydrogène décarboné : une nouvelle compétition énergétique globale – Fondation pour la recherche stratégique – Juillet 2020

Le SCAF

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

La souveraineté spatiale

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