

La décarbonation du secteur aérien à horizon 2050 est possible

Jean-Pierre Hauet,
Chief Scientist, Équilibre des Énergies

La décarbonation de l'aviation est un prérequis incontournable pour permettre au secteur aérien, encore convalescent de l'épisode de la Covid, de retrouver de façon durable la voie de la croissance et de continuer ainsi à répondre aux besoins de l'économie et aux aspirations des peuples à se déplacer.

Certains ont trop vite conclu que cette décarbonation était impossible et ont voué le secteur aérien à une disparition lente, en tentant de jeter le discrédit sur ceux qui s'accrocheraient à un mode de transport jugé par eux dépassé. Équilibre des Énergies a procédé avec ses membres à une évaluation détaillée de la problématique de la décarbonation du secteur aérien, elle a interviewé de hauts responsables et recueilli de nombreuses contributions qui sont rassemblées dans le présent numéro hors-série de l'*EdEnmag*. Les conclusions sont claires : la décarbonation du secteur aérien est possible mais elle est difficile. Pour l'atteindre à horizon 2050, des mesures d'incitation et de soutien doivent être prises, au niveau français mais encore plus au niveau européen et au niveau international, pour permettre aux acteurs économiques de progresser sur l'échéancier menant à cet objectif.

LES FONDEMENTS DE LA DÉCARBONATION DU SECTEUR AÉRIEN

Plusieurs études de renom ont été menées au cours des toutes dernières années sur les feuilles de route envisageables pour parvenir à la décarbonation du



secteur aérien¹. Équilibre des Énergies, en sollicitant l'expertise et les analyses de ses membres et en y adjoignant le point de vue de spécialistes externes, les a passées en revue. Ces études font consensus : elles montrent qu'il n'existe pas de *silver bullet* pour atteindre la décarbonation mais que celle-ci peut se construire en agrégeant différentes approches qui relèvent de la gestion des opérations, du progrès technique et de la migration vers des carburants durables.

L'optimisation des opérations (Air Traffic Management)

Les mesures visant à améliorer l'efficacité des opérations, qu'il s'agisse de la gestion du trafic aérien ou des aéroports, sont celles qui sont susceptibles de produire les effets les plus rapides. L'initiative Ciel unique européen, engagée en 2004 par le premier paquet SES I, a produit des résultats substantiels et a été renforcée par le paquet SES II de 2009. Mais on estime ainsi qu'il reste un potentiel d'amélioration de l'ordre de 10 % qui peut être valorisé en optimisant les trajectoires aériennes en Europe.

...

1. Notamment : « Destination 2050, a route to net zero european aviation » (Februray 2021) – Waypoint 2050 (September 2021).

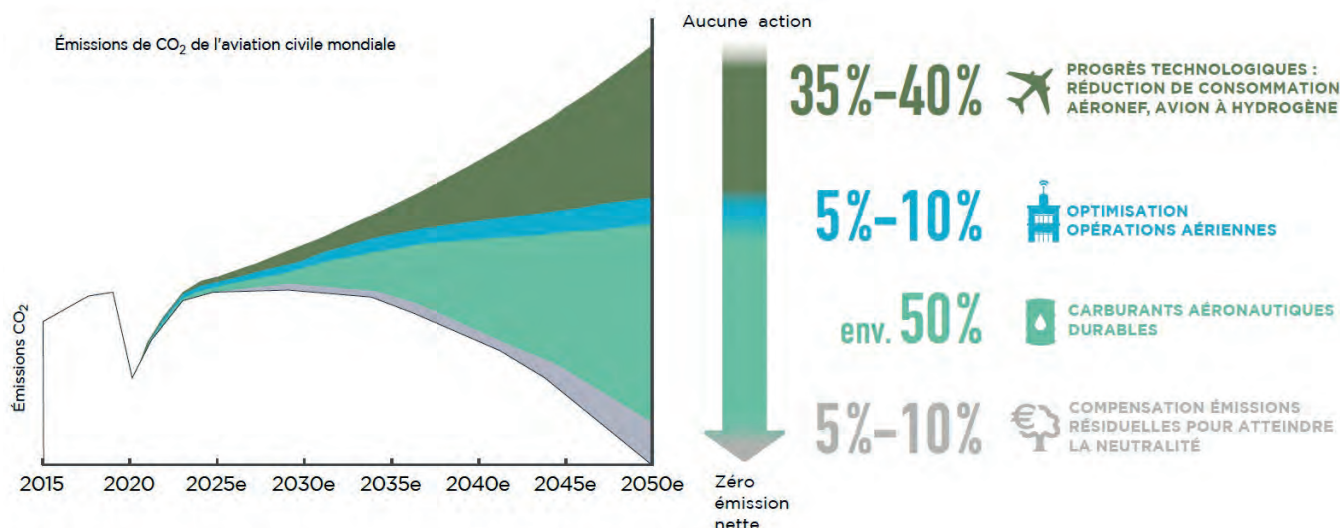


Fig. 1 : Les principaux leviers de décarbonation du secteur aérien. © Safran.

Les progrès techniques

Les progrès techniques se matérialiseront, au cours des toutes prochaines années, par le remplacement de la flotte des aéronefs aujourd'hui en service par les avions disponibles sur le marché qui permettent de réduire les consommations de 15 % environ par rapport à la génération antérieure. À moyen terme, de nouveaux progrès techniques, dans le sillage des progrès réalisés au cours des années passées, apporteront de nouvelles contributions à la décarbonation grâce aux progrès sur l'aérodynamique, l'allègement des aéronefs et l'efficacité des moteurs. Les constructeurs prévoient que les avions mis en service vers 2035 permettront une économie de 20 % par rapport à la génération actuelle.

Au-delà de 2035, l'arrivée des avions à hydrogène, sur les court et moyen-courrier, peut constituer une rupture technologique. Trois concepts sont en cours d'étude par Airbus avec des capacités de transport allant jusqu'à 200 passagers sur 3 700 km.

Entre-temps, l'hybridation électrique se sera développée, pouvant aller jusqu'à l'avion 100 % électrique pour les avions d'entraînement et les taxis volants et même jusqu'à des aéronefs transportant une petite vingtaine de passagers sur quelque 400 km.

Au total, on peut penser que le progrès technique contribuera à hauteur de 35 à 40 % à la réduction des émissions en 2050.

L'enjeu des carburants durables pour l'aviation

Le défi le plus important pour la décarbonation de l'aviation réside dans le développement de carburants durables pour l'aviation ou SAF (*Sustainable Aviation Fuels*). Ces carburants sont dès aujourd'hui une réalité : il existe sept versions de carburants de première génération qui ont été homologués par

l'ASTM² pour être mélangés en proportions variables avec le kérosène conventionnel. Ces carburants sont fabriqués essentiellement selon le processus HEFA (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids*) qui permet de traiter les huiles de cuisson usagées et les graisses animales et qui est la seule la technologie arrivée au stade commercial à ce jour.

Les SAF permettent, en cycle de vie, une réduction des émissions de CO₂ allant jusqu'à 90 % par rapport à leur équivalent fossile. Des vols de démonstration 100 % SAF ont été effectués avec succès démontrant la validité de cette approche.

Cependant, les SAF actuels ne couvrent que 0,01 % des besoins, les quantités disponibles sont limitées et les prix sont élevés (de l'ordre de quatre fois les prix actuels du kérosène).

Le développement des SAF à grande échelle pose plusieurs défis :

- un défi technique visant à élargir au-delà de la filière actuelle des HEFA les processus de fabrication afin d'étendre les types de ressources (*feedstocks*) pouvant servir de base à leur fabrication. En particulier la filière FT (Fischer Tropsch) devrait permettre de valoriser des matières premières, de type résidus agricoles ou forestiers ou déchets municipaux, mais elle ne peut pas être considérée comme mature et nécessitera des investissements très lourds ;
- un problème de disponibilité en ressources d'origine biologique, compte tenu de la nécessité de ne pas porter atteinte à la biodiversité et aux cultures agricoles vivrières. Cette limitation incite à envisager la fabrication de carburants synthétiques d'origine non biologique, ou e-fuels, à partir d'hydrogène bas carbone, d'électricité également décarbonée et de CO₂ récupéré, y compris par récupération directe dans l'air ;

2. L'ASTM (American Society for Testing of Materials) est l'organisme qui rédige et produit des normes techniques internationales, notamment pour les carburants aviation.

- un défi économique car les filières avancées de production des SAF font à ce stade apparaître des prix de revient encore plus élevés que ceux de la filière HEFA ;
- un problème de concurrence dans la mesure où il serait inconcevable que certaines compagnies aériennes soient tenues d'utiliser les SAF alors que d'autres, au niveau international, ne seraient assujetties à aucune obligation.

La Commission européenne a mis en discussion un projet de règlement dénommé ReFuelEU conduisant à une obligation d'incorporation de SAF s'élevant progressivement de 2 % en 2025 jusqu'à 63 % en 2050 dont 28 % d'e-fuels. La réglementation française impose dès 2022 un mandat d'incorporation de SAF à hauteur de 1 % et vise un objectif de 2 % à horizon 2025 et de 5 % à horizon 2030.

La combinaison de ces trois approches – optimisation des opérations, progrès techniques et carburants durables – est de nature à permettre de réduire à pratiquement zéro les émissions du secteur aérien à horizon 2050, selon un scénario qui pourrait être celui de la figure 1. Le solde des émissions en 2050 pourra faire l'objet de compensation.

LES ÉMISSIONS NON CO₂

L'attention se porte généralement en priorité sur les émissions de CO₂ du secteur aérien résultant de la combustion du kérosène. Cependant, les effets non CO₂ ne sont pas marginaux. Ils résultent des cirrus induits par les traînées de condensation, des émissions d'oxyde d'azote, de vapeurs d'eau et d'aérosols, sans négliger la modification des propriétés des nuages. Certains de ces effets sont refroidissants, d'autres réchauffants et, même si les estimations d'experts varient, ces derniers l'emportent largement au point que l'on considère que les effets non CO₂ pourraient contribuer aujourd'hui à hauteur de deux tiers au réchauffement climatique induit par le secteur aérien.

Les effets non CO₂ sont significatifs mais, contrairement au CO₂, ils agissent pendant une durée limitée et donc ne se pérennisent pas dans l'atmosphère.

Lutter contre les effets non CO₂, c'est la possibilité d'obtenir un résultat rapide et significatif et de se donner ainsi davantage de temps pour la réduction des émissions de CO₂ qui sont indispensables mais difficiles à réaliser.

Il est admis que les SAF, qui contiennent moins de composés aromatiques et donc génèrent moins de suies et de traînées de condensation, ont un impact positif sur les effets non CO₂ de l'aviation.

L'EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DES AÉROPORTS

Les émissions des aéroports sont complexes à évaluer. Elles incluent bien entendu les émissions directes et les émissions liées aux achats d'énergie, ce qu'on appelle les scopes 1 et 2 tels que définis par le *GHG Protocol*. Mais ces émissions représentent une proportion minime (3 % environ) de celles relevant du scope 3 qui correspondent aux émissions des parties prenantes auxquelles les aéroports se trouvent associés : émissions des avions au stationnement et des engins d'assistance en escale, accès aux plates-formes aéroportuaires par les passagers et les salariés, décarbonation des opérations avion au sol.

L'*Airport Carbon Accreditation program* définit des étapes qui sont balisées par des niveaux d'accréditation allant aujourd'hui jusqu'au niveau 4+.

Chaque aéroport a désormais sa feuille de route. Les aéroports parisiens sont d'ores et déjà accrédités niveau 3 et celui de Lyon - Saint-Exupéry 3+.

INCITATIONS ET SOUTIENS À LA DÉCARBONATION : PRINCIPES GÉNÉRAUX

La décarbonation du secteur aérien est possible mais elle ne se fera pas toute seule. Elle nécessite la mise en place d'un ensemble cohérent de mesures, associant incitations et soutiens, aux niveaux national, européen et international. Ces politiques doivent trouver leur expression, pour la France dans la prochaine loi quinquennale de programmation énergie-climat, pour l'Europe dans le paquet *Fit for 55* et dans ses prolongements. Elles doivent impérativement tenir compte de deux impératifs essentiels :

• Préserver la compétitivité des secteurs aériens français et européen

Le secteur de l'aviation est l'un des derniers où l'Union européenne, et la France en particulier, disposent d'un leadership sur la scène internationale. En 2018, la filière aérienne soutenait deux millions d'emplois directs dans l'Union européenne et près de dix millions d'emplois indirects, incluant les métiers liés à la chaîne d'approvisionnement et au tourisme. La même année, l'aviation a apporté une contribution de l'ordre de 675 milliards d'euros au PIB européen.

Il est essentiel que les mesures qui seront prises pour décarboner le secteur aérien européen soient compatibles avec la préservation de la compétitivité de ce secteur. Un effondrement de sa compétitivité n'aurait en effet de sens ni sur le plan économique, ni sur le plan écologique : les sociétés européennes seraient simplement remplacées sur les marchés qu'elles occupent par des sociétés étrangères n'ayant pas à appliquer les normes environnementales européennes.

• Adapter la temporalité de la décarbonation aux défis propres au secteur aérien

La décarbonation du secteur aérien est possible mais elle représente un défi technique et économique plus difficile à relever que celui qui se pose à la plupart des autres secteurs.

Avant de parvenir à un secteur aérien décarboné, il faut admettre de l'inscrire dans une temporalité de décarbonation plus progressive que celle des secteurs pour lesquels des solutions de transition existent et sont déjà largement déployées, comme les secteurs de la mobilité routière et des bâtiments.

La transition énergétique du secteur aérien prendra davantage de temps, il est donc essentiel de mettre en place les mécanismes de soutien qui permettront dans les prochaines années de déployer à grande échelle les carburants durables et les nouveaux modèles d'avions.

LES PRINCIPALES MESURES À PROMOUVOIR

1. Accroître l'efficacité de la gestion du trafic aérien et des services de navigation aérienne

En 2019, l'Union européenne a lancé une nouvelle étape du Ciel unique européen (paquet *Single European Sky 2+*). Cette initiative est actuellement en débat entre les différentes institutions européennes. Certains obstacles politiques subsistent mais d'autres ont pu être levés, à la faveur notamment du Brexit. Il est à présent important de faire progresser les discussions dans le cadre du trilogue afin de parvenir dès que possible à un accord.

2. Encourager le renouvellement des flottes

Afin d'encourager les compagnies aériennes à renouveler leurs flottes, Équilibre des Énergies recommande d'intégrer le renouvellement parmi les activités durables définies par le règlement de la taxonomie verte et de conditionner le versement des aides publiques aux compagnies aériennes à des engagements sur le renouvellement de leurs appareils.

3. Flécher une partie des taxes appliquées au secteur aérien vers les efforts de décarbonation de la filière

Les taxes aériennes représentent aujourd'hui plus de 40 % du prix des billets mais les sommes collectées ne sont pas fléchées vers la décarbonation du secteur. La question du fléchage n'est pas non plus abordée dans le cadre des projets européens visant à taxer le kérosène et à mettre fin aux quotas ETS gratuits dont bénéficiait le secteur. Équilibre des Énergies recommande d'inclure dans les projets européens en discussion des dispositions assurant le fléchage d'une partie des taxes appliquées au secteur aérien, y compris les

revenus qui résulteront de la mise aux enchères des quotas aujourd'hui gratuits de l'EU-ETS, vers les efforts de décarbonation de la filière et en particulier le développement de nouvelles techniques.

4. Mettre en place des quotas d'incorporation de carburants durables mais en préservant la compétitivité des compagnies aériennes européennes

Équilibre des Énergies estime qu'un quota d'incorporation contraignant est nécessaire pour inciter les compagnies aériennes à migrer aussi rapidement que possible vers les carburants durables pour l'aviation (SAF). Elle soutient à ce titre le principe du mécanisme proposé par la Commission européenne au travers du règlement ReFuelEU. Cependant, ce mécanisme doit être rendu compatible avec la préservation de la compétitivité du secteur aérien européen. À cette fin :

- les pouvoirs publics français et européens doivent continuer à soutenir auprès de l'OACI les revendications visant à harmoniser la définition des SAF et à aligner les exigences résultant du système international du CORSIA avec celles imposées dans l'espace européen ;
- la réglementation européenne devrait assortir les obligations d'incorporation de SAF d'un système de certificats (*book & claim*) de façon à traiter sur un pied d'égalité les compagnies européennes et les compagnies internationales qui pourront se ravitailler dans des hubs situés en dehors de l'espace européen.



5. Élargir la liste des matières premières autorisées pour la production des SAF

Équilibre des Énergies soutient le principe d'élargir progressivement l'obligation d'incorporation de SAF. Cependant, le volume de production des SAF doit évoluer en conséquence et celui-ci est conditionné par l'accès aux matières premières nécessaires.

Équilibre des Énergies recommande d'élargir dans les textes européens (règlement ReFuelEU et directive RED) la liste des matières premières autorisées pour la production des SAF, notamment aux graisses animales de catégorie 3 dont l'utilisation est actuellement réservée à la production de cosmétiques et de carburants terrestres.

6. Élargir la définition des e-fuels

Les carburants synthétiques pour l'aviation (e-fuels) ne seraient, selon la proposition de la Commission dans le projet de règlement ReFuelEU, reconnus comme SAF que si leur contenu énergétique provient de sources renouvelables autres que la biomasse. Ceci impose l'utilisation d'électricité d'origine renouvelable. Équilibre des Énergies estime que l'électricité bas carbone doit pouvoir être prise en compte dans la définition des e-fuels afin qu'elle puisse contribuer à la décarbonation du secteur aérien, en augmentant les ressources en SAF disponibles.

7. Prioriser le secteur aérien dans l'utilisation des biocarburants

Le secteur aérien est plus difficile à décarboner que d'autres secteurs où d'autres technologies de transition sont disponibles (mobilités électrique ou hydrogène). Sa décarbonation sera largement dépendante de l'utilisation des SAF qui doivent pouvoir être rendus disponibles en quantités suffisantes.

Équilibre des Énergies recommande en conséquence de flécher, dans les politiques publiques, l'utilisation prioritaire des SAF au profit du secteur aérien. Au niveau européen, elle recommande d'adapter les coefficients multiplicateurs et seuils de consommation maximale présents dans la directive RED afin de marquer cette priorité.

8. Promouvoir les partenariats publics-privés pour soutenir le travail d'adaptation des aéroports

Les aéroports jouent un rôle clé dans le déploiement de l'aviation durable en mettant notamment en place les infrastructures nécessaires au développement des carburants alternatifs. Les aéroports français sont en avance par rapport aux réglementations en vigueur et anticipent par leurs propres moyens les besoins futurs des compagnies aériennes.

Équilibre des Énergies recommande d'accompagner les aéroports dans le déploiement de l'aviation durable, notamment par la mise en place de systèmes de soutien tels que des partenariats publics-privés.

9. Soutenir la création d'un label reconnaissant les compagnies aériennes responsables sur le plan de l'environnement

L'EASA (*European Union Aviation Safety Agency*) a proposé en 2019 de créer un label environnemental volontaire (Airline label) permettant aux passagers d'être informés et de reconnaître les efforts déployés par les compagnies aériennes dans le domaine environnemental.

Équilibre des Énergies appelle à soutenir cette initiative et à la faire aboutir dès que possible, en prenant en compte, parmi les critères d'attribution du label, les efforts faits par les compagnies pour réduire leurs émissions et en particulier les émissions de CO₂.

Équilibre des Énergies appelle également à étudier les mesures, telles que des réductions de taxes d'aéroport ou de redevances de survol, qui pourraient permettre de reconnaître l'effort fait par les compagnies pour respecter les conditions d'octroi du label.

10. Accélérer les études sur les effets non CO₂

Il est admis que le recours accru aux SAF aura un effet bénéfique sur les effets non CO₂. Ils contiennent moins de composés aromatiques et donc génèrent moins de suies qui sont des précurseurs de la formation des traînées de condensation. Cependant, les effets non CO₂ sont des phénomènes complexes qui sont encore mal connus. Des études additionnelles sont nécessaires afin d'être en mesure d'élaborer des stratégies d'adaptation des trajectoires de vol et éviter les zones propices à la formation des traînées, sans allonger excessivement les trajets.

Équilibre des Énergies recommande de les mener à la fois au niveau français et au niveau européen, afin de mieux connaître les mécanismes de formation des traînées ainsi que les autres effets non CO₂ qui peuvent s'y ajouter. ●

