

Le réseau aéronautique Questions liées à la décarbonisation

La décarbonisation de l'aviation est sans doute le plus grand défi auquel le secteur du transport aérien est confronté.

A l'échelle mondiale, 4,4 milliards de personnes ont emprunté la voie des airs en 2018. Le secteur de l'aviation génère 65,5 millions d'emplois, contribue à hauteur de 2,7 billions de dollars (3,6 %) au produit intérieur brut mondial, et transporte, en valeur, le tiers des échanges commerciaux mondiaux. Depuis 2009, les investissements de ce secteur dans les nouveaux aéronefs se chiffrent à plus de 1 billion de dollars, et la flotte mondiale, qui compte 32 000 appareils, relie les citoyens du monde entre eux par plus de 62 000 routes aériennes.

L'efficacité environnementale n'a cessé de s'améliorer. En effet, la consommation de carburant pour 100 passagers-kilomètres a chuté à 3,4 L/100 km en 2017, contre 4,4 L/100 km en 2005, soit une diminution de 24 %. D'après les estimations, le système d'échange de quotas d'émissions de l'UE (ETS) devrait permettre une réduction de 193 millions de tonnes des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) pour la période 2013-2020 ; le régime de compensation et de réduction de carbone pour l'aviation internationale (CORSIA) de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) des Nations Unies pourrait, quant à lui, éviter l'émission de 2,5 milliards de tonnes de CO₂ et dégager des fonds avoisinant les 40 milliards de dollars en faveur de la lutte contre le changement climatique d'ici 2035.

Globalement, le secteur de l'aviation peut se targuer d'être parvenu à réaliser des progrès de taille du point de vue environnemental (voir ci-après).

Réduction des émissions de CO ₂ par siège-kilomètre depuis les premiers avions à réaction	-80%
Réduction du bruit perçu depuis les premiers avions à réaction	-75%
Émissions de CO ₂ évitées depuis 1990	10 milliards de tonnes
Carburant consommé pour 100 passagers-km parcourus (avions à réaction les plus récents)	< 3 litres / 100 km
Amélioration de l'efficacité énergétique sur la période 2009-2016	Moyenne annuelle de 2,1 %

Malgré les avancées précitées, le secteur de l'aviation a produit plus de 900 millions de tonnes de CO₂ en 2018. Ces émissions ne passent pas inaperçues. Greta Thunberg, la grève étudiante pour le climat, le #flygskam et le mouvement "Extinction Rebellion" sont au cœur de l'actualité, tant dans la presse que sur les médias sociaux. Une "poussée verte" a été observée dans de nombreux États lors des élections parlementaires européennes ; en Allemagne, 36 % des primo-votants ont opté pour le parti vert.

Le "Committee on Climate Change" (CCC, comité sur le changement climatique) du Royaume-Uni a récemment émis un rapport recommandant la fixation d'un objectif national visant à parvenir à un niveau zéro d'émission nette de gaz à effet de serre d'ici 2050, objectif qui s'appliquerait entre autres au secteur de l'aviation.

Croissance du trafic et des émissions

Le secteur aéronautique a lui aussi réagi. Les aéroports membres d'ACI EUROPE se sont engagés à parvenir à un bilan carbone neutre d'ici 2050 pour toutes les émissions qui relèvent pleinement de leur contrôle. Dans le cadre de son initiative "Flying responsibly" (Voler de manière responsable), KLM va même jusqu'à inviter ses passagers à se demander si voyager en avion est réellement nécessaire, et plusieurs compagnies aériennes, dont Lufthansa, permettent à leurs passagers de compenser leurs émissions.

L'aviation fait indéniablement l'objet de pressions croissantes visant à parvenir à sa décarbonisation. Toutefois, il s'agit d'un secteur à très long terme, dont le rendement est évalué de décennie en décennie ; une décarbonisation rapide est donc particulièrement difficile. Examinons à présent quelques éléments factuels.

REACTION DE L'AVIATION LES 4 PILIERS DE L'OACI



La croissance du trafic aérien semble tout bonnement inexorable ; les ralentissements économiques, les attentats terroristes, les conditions météorologiques extrêmes et même les périodes de grave récession, comme celle de 2008-2009, n'ont pas eu pour effet d'ébranler cette croissance. Sur le long terme, la croissance du trafic est étroitement liée à celle du PIB. En effet, au fur et à mesure que le monde s'est enrichi, la propension à prendre l'avion a augmenté. Si la moyenne des vols par habitant peut s'avérer relativement constante dans les pays développés, une demande inexploitée subsiste dans les autres pays. La croissance du trafic en provenance du Japon, de la Corée du Sud, de Singapour et, plus récemment, de la Chine, nous donne une indication sur ce que nous réserve l'avenir. Par ailleurs, on constate une évolution des modèles économiques. Qui, il y a vingt-cinq ans, aurait pu imaginer que les compagnies aériennes du Golfe viendraient à s'imposer sur le marché en tant que "super-connecteurs" ou qu'une petite compagnie irlandaise transporterait aujourd'hui plus de 150 millions de passagers à travers l'Europe chaque année ?

Pendant le premier semestre de l'année, les vols au départ d'aéroports situés dans les pays figurant sur la carte ci-dessous ont augmenté de 1,3 % par rapport à 2018. Les émissions, quant à elles, ont grimpé de 3,4 %. Le trafic suédois a lui chuté de 6,1 % et les émissions correspondantes ont enregistré une baisse de 3,6 % ; nombreux sont ceux qui voient dans cette évolution une conséquence du fameux "flygskam" (mouvement visant à boycotter les voyages en avion).

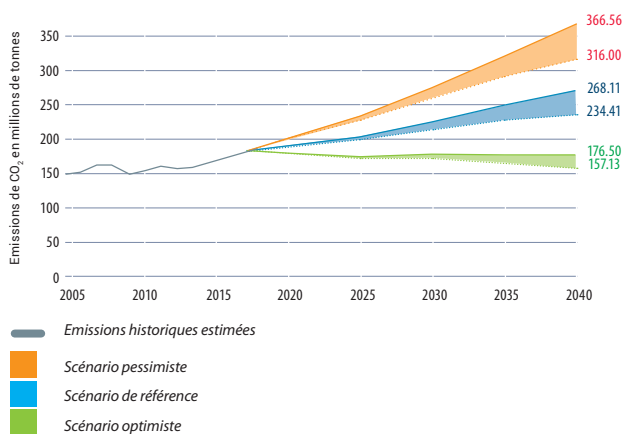
Le diagramme figurant à la page suivante montre les émissions de CO₂ générées par les 44 États membres de la CEAC entre 2005 et 2040, en fournissant des valeurs historiques jusqu'en 2017 ainsi que trois prévisions différentes pour la période 2017-2040.

À moins que les caractéristiques de trafic ne changent, des avancées technologiques visant à réduire les émissions ne seront pas en mesure de compenser les émissions engendrées par les vols supplémentaires.

"La croissance du trafic aérien est étroitement liée à celle de l'économie."

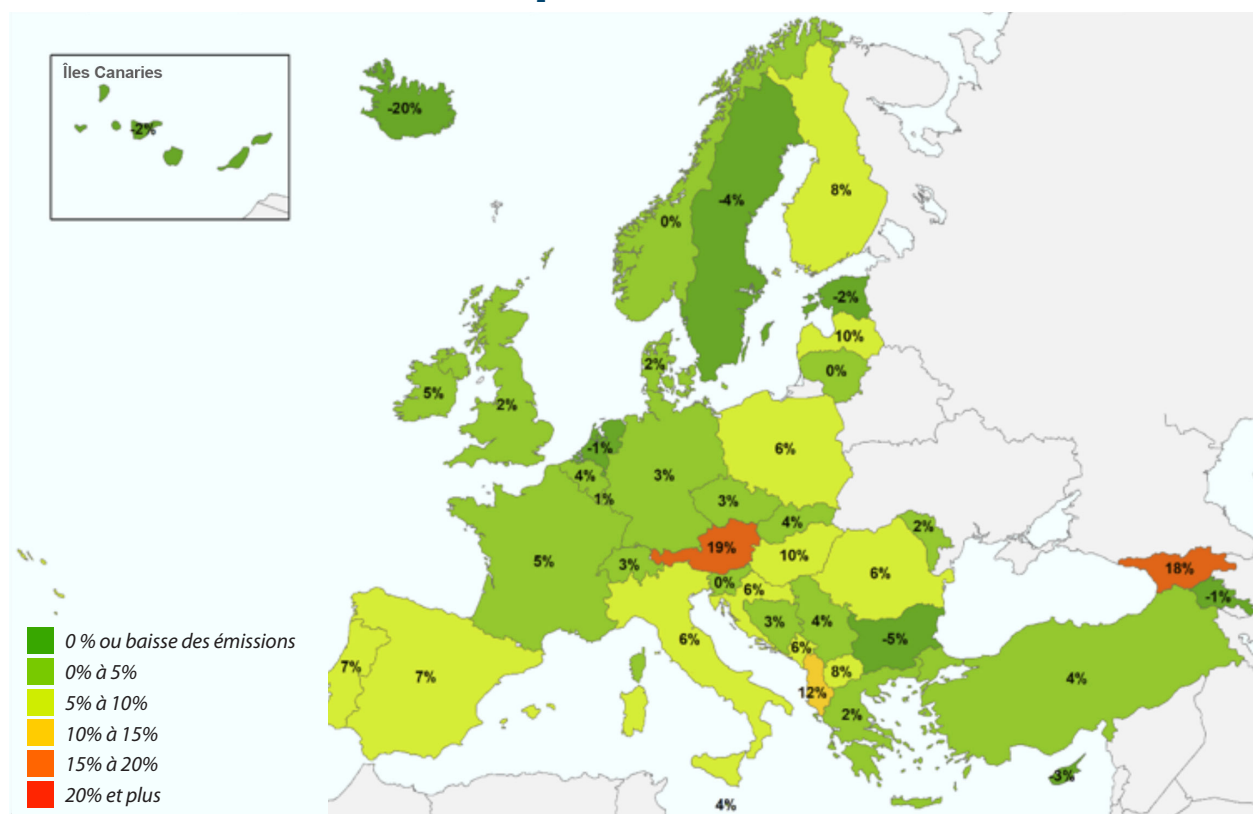
ZONE CEAC – ESTIMATIONS DES EMISSIONS DE CO₂ POUR LA PERIODE 2005-2040 (INCIDENCE)

VOLS IFR AU DÉPART



Les zones colorées indiquent les fourchettes d'émission entre un scénario sans avancées technologiques (lignes supérieures continues) et un scénario où on envisage une amélioration technologique annuelle de 1,16 % intégrée aux nouveaux avions (lignes inférieures en pointillés)

AUGMENTATION DES EMISSIONS DE CO₂ DES VOLS AU DEPART DE JANVIER A JUIN 2019



“A moins que les caractéristiques de trafic ne changent, des avancées technologiques visant à réduire les émissions ne seront pas en mesure de compenser les émissions engendrées par les vols supplémentaires”

Comparaison avec d'autres secteurs

Au sein du secteur des transports, l'aviation n'est pas le plus mauvais élève en matière de pollution. D'après les dernières données de l'Agence internationale de l'énergie, les transports sont responsables de 24 % des émissions directes de CO₂ résultant de la consommation de carburant, les véhicules routiers étant à l'origine de près de 75 % de celles-ci. Les émissions produites par l'aviation et le transport maritime étaient à des niveaux très similaires en 2018 (environ 11 % de l'ensemble des émissions de l'industrie des transports) ; cependant, elles représentaient moins d'un sixième des émissions totales du transport routier.

Les coûts externes, tels que le changement climatique, ne sont que partiellement couverts par le secteur du transport, les coûts externes moyens de l'aviation dans l'UE28 étant légèrement inférieurs à ceux d'un autobus ou d'un autocar et trois fois inférieurs à ceux d'une voiture particulière. L'aviation couvre également une part bien supérieure (82 %) de ses coûts d'infrastructures par rapport aux autres secteurs.

EMISSIONS DE CO₂ DU SECTEUR DES TRANSPORTS PAR MODE DE TRANSPORT

(EN MILLIARDS DE TONNES)

Secteur / année	2000	2005	2010	2015	2018
Transport routier de passagers	2,5	2,9	3,1	3,5	3,6
Transport routier de marchandises	1,7	1,9	2,1	2,3	2,4
Transport maritime	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9
Aviation	0,67	0,73	0,74	0,87	0,93
Transport ferroviaire	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Autres	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
TOTAL	5,67	6,53	7,04	7,77	8,13

Source : Agence internationale de l'énergie

“L'aviation couvre 82 % de ses coûts d'infrastructures, soit beaucoup plus que les autres composantes du secteur des transports.”

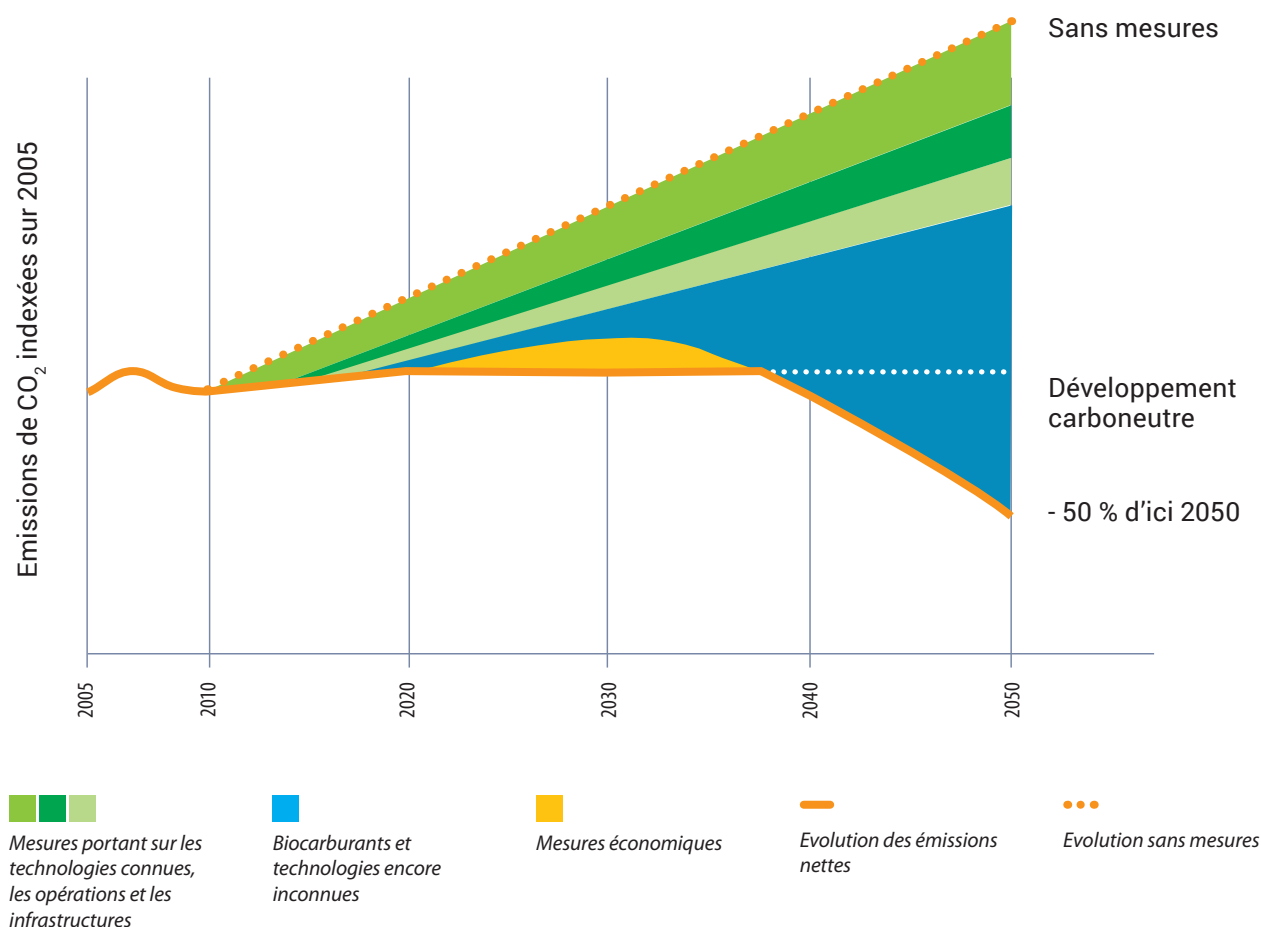
L'ensemble de mesures de l'OACI Réaction du secteur de l'aviation

L'aviation est le premier secteur industriel à se fixer un objectif de réduction des émissions de CO₂ ; en effet, il s'est engagé à introduire un développement carboneutre d'ici 2020 (CNG2020) et vise une réduction de ses émissions de 50 % par rapport à 2005 d'ici 2050.

Le secteur de l'aviation et son instance de réglementation et de normalisation à l'échelon mondial, l'OACI, ont adopté une approche s'articulant autour de quatre piliers afin de

réaliser ces objectifs. Ces quatre piliers sont les suivants : avancées technologiques (moteurs et cellules d'aéronefs), amélioration des infrastructures et des opérations (de façon à rendre plus efficaces les opérations aéroportuaires, le contrôle de la circulation aérienne, l'organisation de l'espace aérien et la manière dont les aéronefs opèrent), mesures fondées sur le marché et introduction de carburants durables pour l'aviation. Cet ensemble de mesures est détaillé ci-après.

ENSEMBLE DE MESURES



"Il convient de répondre aux besoins en matière d'émissions de manière globale."

Avancées technologiques

Le secteur a la volonté de réduire sa consommation de carburant et ses émissions depuis de nombreuses années et a donc réalisé des investissements colossaux à cette fin, qui portent aujourd'hui leurs fruits. La dernière génération d'aéronefs (l'A350 et le B787, par exemple), propulsée par des moteurs plus performants, consomme environ 15 à 20 % moins de carburant que ses prédécesseurs. Ce phénomène est illustré dans le graphique ci-dessous. La consommation de carburant pour 100 passagers-kilomètres a chuté de 24 % entre 2005 et 2017, passant de 4,4 à 3,4 L/100 km, et cette tendance devrait se poursuivre.

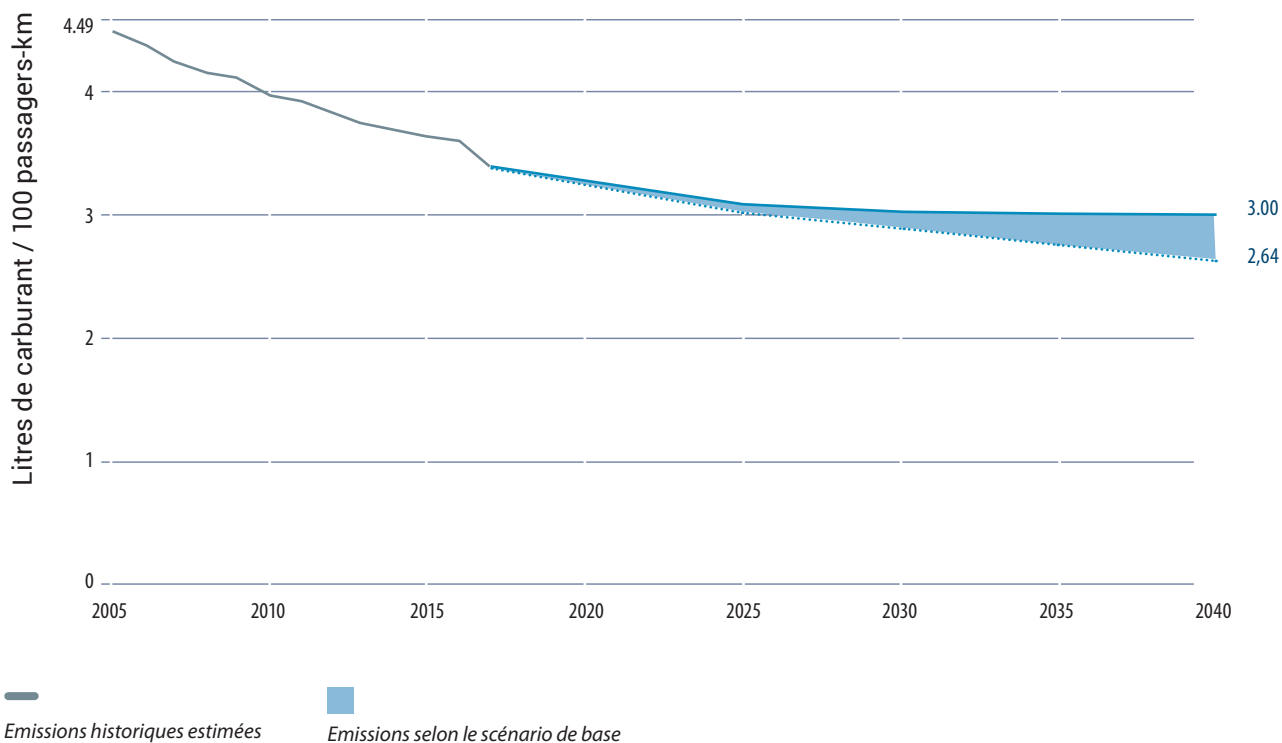
Parmi les modèles de la nouvelle génération d'aéronefs, le Boeing 777X sera le dernier à être mis en service, au début de la prochaine décennie. Aucun projet définitif d'avion de ligne de la génération suivante, qui devrait permettre une réduction supplémentaire de 15 à 20 % de la consommation

de carburant et des émissions, n'a été annoncé. Par conséquent, il est difficile de formuler des prévisions quant à l'efficacité de la flotte mondiale d'ici 2040.

La nouvelle génération d'aéronefs sera toujours en cours de production dans les 15 à 20 prochaines années. La dernière cellule d'aéronef à quitter la phase de production sera mise en service environ 30 ans plus tard, soit pendant la seconde moitié du siècle. Il y a, dès lors, une inertie inhérente au "renversement" radical de la flotte. L'effet de l'introduction d'aéronefs nettement moins polluants à partir, disons, de 2030-2035 se fera sentir de manière progressive à moins qu'une vague de remplacement de la flotte ne déferle soudainement sur le secteur. C'est une des raisons pour lesquelles ce dernier mise sur un ensemble de mesures ; pour parvenir à réduire les émissions nettes, chacune des mesures prévues sera nécessaire.

ZONE CEAC – EFFICACITE ENERGETIQUE ENTRE 2005 ET 2040 (INCIDENCE)

VOLS IFR AU DEPART – SCENARIO DE BASE



La zone colorée indique la possible fourchette d'émission entre le scénario de base, sans avancées technologiques (ligne supérieure) et un scénario où on envisage une amélioration technologique annuelle de 1,16 % intégrée aux nouveaux aéronefs (ligne inférieure)

“Une approche durable à l'échelle du système est indispensable.”

Opérations

La taille moyenne des aéronefs est en augmentation, de même que la proportion de sièges occupés par vol (taux de remplissage) et la distance moyenne parcourue. Ces évolutions sont autant d'indicateurs de l'amélioration de l'efficacité des compagnies aériennes.

D'après le dernier rapport d'examen des performances d'EUROCONTROL, la gestion du trafic aérien peut influencer sur environ 6 % des émissions liées à l'aviation en Europe. Actuellement, EUROCONTROL, en sa qualité de gestionnaire du réseau, coordonne l'introduction de "l'espace aérien à itinéraire libre" dans l'espace aérien supérieur, qui, selon les estimations, a déjà permis une réduction de 2,6 millions de tonnes des émissions de CO₂ depuis 2014. EUROCONTROL est également en train de mettre au point un plan d'action conjoint avec le secteur du transport aérien en vue de favoriser une meilleure continuité des opérations de montée et de descente, qui pourrait donner lieu à une réduction des émissions de CO₂, jusqu'à concurrence de 1,1 millions de tonnes par an. L'étude réalisée par la Commission européenne sur l'architecture de l'espace aérien et élaborée par l'entreprise commune SESAR et EUROCONTROL, en sa qualité de gestionnaire du réseau, prévoit une réduction potentielle jusqu'à concurrence de 13 milles marins en termes de distance parcourue par vol d'ici 2035, qui se traduira par une économie de 30 à 60 millions de tonnes de CO₂ sur la période 2019-2035.

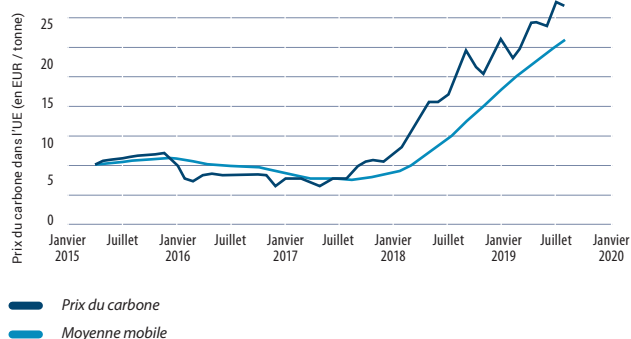
D'autres améliorations d'ordre opérationnel pourraient permettre de réaliser de petites économies çà et là. Toutefois, une fois les profils vertical et horizontal optimisés au maximum, la quantité d'émissions que la gestion du trafic aérien pourra influencer sera négligeable. Globalement, les émissions supplémentaires générées en quelques années par la croissance du trafic aérien pourraient être équivalentes aux économies réalisées grâce à la gestion du trafic aérien.

Mesures fondées sur le marché

Le système d'échange de quotas d'émissions de l'UE s'applique aux vols entre aéroports situés dans l'espace économique européen et le plafond du secteur de l'aviation a été fixé à partir des émissions moyennes pendant la période 2004-2006. Selon les estimations, la réduction nette des émissions liées à l'aviation pour la période 2013-2020 s'élèvera à environ 193 millions de tonnes de CO₂.

Le régime CORSIA de l'OACI impose la surveillance de la consommation de carburant des vols internationaux depuis le 1er janvier 2019. D'ici 2027, tous les vols internationaux entre des aéroports situés dans les États non exemptés seront tenus de se conformer au CORSIA, sachant que les exemptions concernent principalement les petits États insulaires en développement et les États les moins développés. Les émissions de référence du CORSIA correspondent aux émissions moyennes issues du trafic aérien international sur la période 2019-2020. Bien que les émissions de référence de l'ETS de l'UE puissent être considérées comme plus contraignantes puisqu'elles ont été fixées à un moment où les émissions étaient moindres, le CORSIA présente l'avantage d'être appliqué à l'échelle mondiale. Ce régime pourrait permettre de compenser environ 2,5 milliards de tonnes de CO₂ et de dégager des fonds avoisinant les 40 milliards de dollars en faveur de la lutte contre le changement climatique d'ici 2035.

PRIX DU CARBONE DANS L'UE (QUOTAS EUROPEENS D'EMISSIONS DE CO₂)



“CORSIA pourrait permettre de compenser environ 2,5 milliards de tonnes de CO₂ d'ici 2035”

Carburants durables pour l'aviation (SAF)

S'il existe une demande de SAF insatisfaite, l'offre de tels carburants à un prix attractif est très limitée.

Néanmoins, la situation va en s'améliorant. Certains États membres de l'UE commencent à introduire des objectifs en matière d'utilisation de biocarburants dans le secteur de l'aviation et visent à ce que ces carburants durables comblient 30 % des besoins en énergie d'ici 2030. United Airlines, KLM et British Airways investissent dans la production de carburants durables et se sont engagés à acheter des SAF dans les années à venir ; toutefois, seule une infime partie de leurs vols seront concernés par ces changements.

Parmi les potentielles sources d'énergie de substitution figurent les piles à combustible à l'hydrogène et les électrocarburants, qui sont obtenus en électrolysant de l'eau afin d'extraire l'hydrogène qui la compose, qui est ensuite combiné à du CO₂ provenant de l'atmosphère pour obtenir un carburant d'appoint liquide à base d'hydrocarbures. Toutefois, l'un comme l'autre nécessitent d'importantes nouvelles infrastructures et, leurs processus de production respectifs étant énergivores, il faudra avoir recours à des énergies renouvelables pour les obtenir, faute de quoi leur utilisation perdrait tout intérêt. Il ne sera possible de mettre en œuvre ces solutions durables qu'à partir des années 2030, au plus tôt.

Perspectives d'avenir

Parvenir à réduire les émissions liées à l'aviation rapidement au moyen des technologies actuellement disponibles ne sera pas une tâche aisée. Si l'ETS et le CORSIA encouragent les compagnies aériennes à réduire leurs émissions, les mécanismes de compensation utilisés, dont les effets sont attribués au secteur de l'aviation, réduisent en réalité les émissions imputables à d'autres sources et non celles directement engendrées par le transport aérien. De même, les SAF issus de la biomasse contribueront à réduire les émissions nettes du secteur. Toutefois, la transition vers des SAF implique un changement technologique majeur et des coûts considérables ; il est difficile d'envisager que le secteur de l'aviation sera en mesure d'intégrer de manière appréciable les SAF sans bénéficier d'une aide gouvernementale.

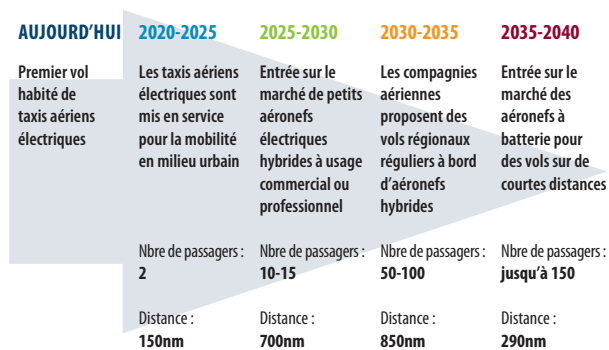
Du point de vue des constructeurs de cellules d'aéronefs, le défi consiste à élaborer de nouvelles cellules, qui peuvent leur sembler peu familières, dans l'optique d'améliorer nettement l'efficacité des appareils. Parmi les éléments envisagés par la recherche, on retrouve une variation en forme de V du concept de l'aile volante, l'aile transsonique en treillis, l'écoulement laminaire, les moteurs avec ingestion de couche limite, la conception d'ailes bio-inspirée et même des bouts d'aile repliables. Il faudra cependant du temps pour mettre à l'essai ces innovations et parvenir, à terme, à leur certification, qui n'arrivera probablement pas avant 2030.

Les constructeurs de moteurs et de cellules d'aéronefs participent activement à la recherche portant sur l'électrification des systèmes de propulsion. De nouveaux modèles et de nouvelles possibilités de fabrication pourraient permettre d'améliorer la propulsion / l'intégration au fuselage afin de réaliser les objectifs fixés tant en matière d'efficacité que de réduction du bruit.

Il existe déjà des modèles hybrides ou à batterie parmi les petits aéronefs. Ce type d'initiatives novatrices contribuera à l'acquisition de l'expérience et de l'assurance nécessaires à une intégration plus poussée des modèles électriques dans le secteur de l'aviation.

“L'espace aérien à itinéraire libre a permis une réduction de 2,6 millions de tonnes de CO₂ depuis 2014.”

Les secteurs des drones et des véhicules aériens sans pilote seront très probablement source d'innombrables innovations. Certaines jeunes entreprises, telles que Lilium, ont déjà bénéficié de capitaux d'amorçage impressionnants. Elles sont fondées sur des nouveaux concepts, comme la mobilité aérienne en milieu urbain, et cherchent à améliorer rapidement les performances des batteries. Le secteur de l'aviation devrait également profiter de l'électrification rapide de l'industrie automobile, au sein de laquelle une amélioration des batteries sur le plan de la densité énergétique est essentielle afin de permettre d'apaiser "l'angoisse de l'autonomie" à l'égard des véhicules électriques. Une des voies que peut emprunter l'électrification du secteur de l'aviation est illustrée dans le graphique ci-après.



Source : IATA

La question est de savoir si les progrès en matière de carburants durables pour l'aviation, de cellules d'aéronefs et de technologies de propulsion peuvent être réalisés suffisamment rapidement.

Perspectives de la gestion du trafic aérien

La distance supplémentaire parcourue sur l'axe horizontal d'une route européenne s'élevait à seulement 2,7 %, et ce malgré l'augmentation du trafic. Les améliorations du réseau mentionnées dans le présent document devraient avoir des effets positifs sur les profils de vols horizontal et vertical. On peut raisonnablement estimer que les perspectives de progrès de la gestion du trafic aérien sont limitées en la matière et que les possibilités finiront par s'épuiser, à mesure que les améliorations prévues sur le plan de l'efficacité sont menées à bien. En effet, il s'avérera difficile, en soi, de maintenir les avancées en termes d'efficacité à mesure que le trafic augmentera.

Dès lors, la contribution à long terme de la gestion du trafic aérien à la décarbonisation du secteur de l'aviation se concentrera de plus en plus sur le fait de veiller à l'introduction, dans de bonnes conditions de sécurité, de nouveaux types d'aéronefs à haute efficacité énergétique dans un espace aérien et des aéroports toujours plus encombrés pour éviter de gâcher la moindre goutte de SAF ou le moindre kilowattheure d'énergie électrique.

Parallèlement, il est possible que la gestion du trafic aérien ait également un rôle à jouer dans la réduction des conséquences de l'aviation qui ne sont pas liées au CO₂ ; la communauté scientifique est actuellement en train de réunir des éléments de preuve pour mettre en évidence ces conséquences. Toutefois, en Europe, le système de redevances de route, qui permet le paiement, par les exploitants d'aéronefs, des services liés au contrôle de la circulation aérienne, pourrait être utilisé pour promouvoir les vols "plus écologiques". Il s'agit peut-être d'un outil sous-estimé auquel la gestion du trafic aérien pourrait recourir pour appuyer la décarbonisation de notre secteur.

"Il convient d'encourager l'utilisation de carburants durables pour l'aviation."

Les cinq principales tâches à accomplir

La décarbonisation de l'aviation est sans doute le plus grand défi auquel le secteur du transport aérien est confronté. Si les décideurs politiques devaient choisir les cinq principales tâches à accomplir afin de parvenir à un bilan carbone neutre d'ici 2050, voici la liste qu'ils devraient établir :

- 1 Transformer le réseau européen de gestion du trafic aérien et encourager la réalisation de progrès sur le plan environnemental par la mise à disposition de routes plus courtes et efficaces.
- 2 Favoriser la transition rapide vers l'utilisation généralisée de carburants durables pour les long-courriers en particulier. Les SAF sont trop onéreux ; il convient d'encourager leur production et leur utilisation.
- 3 Pour les courtes distances, concevoir des aéronefs à haute efficacité énergétique et à grande capacité afin de pouvoir transporter les passagers toujours plus nombreux.
- 4 Procéder à un renouvellement complet de la flotte d'ici 2050 afin que seuls des aéronefs partiellement ou complètement électriques circulent ou, pour les long-courriers, n'utiliser que des SAF.
- 5 Combler les manques en matière d'électrification des aéronefs commerciaux destinés à parcourir de courtes distances grâce à l'hybridation et à l'amélioration des batteries sur le plan de la densité énergétique, tout en élaborant des piles à combustible à l'hydrogène ainsi que des technologies et des infrastructures en matière d'électrocarburants.

Pour en savoir plus, veuillez contacter :

infocentre@eurocontrol.int

ou

environment@eurocontrol.int



SUPPORTING EUROPEAN AVIATION



© EUROCONTROL - Septembre 2019

Le présent document est publié par EUROCONTROL à titre d'information. Il peut être reproduit, en tout ou en partie, sous réserve qu'EUROCONTROL soit mentionnée comme source et qu'il ne soit pas utilisé à des fins commerciales (lucratives). Les informations contenues dans le présent document ne peuvent être modifiées sans l'autorisation écrite préalable d'EUROCONTROL.

www.eurocontrol.int