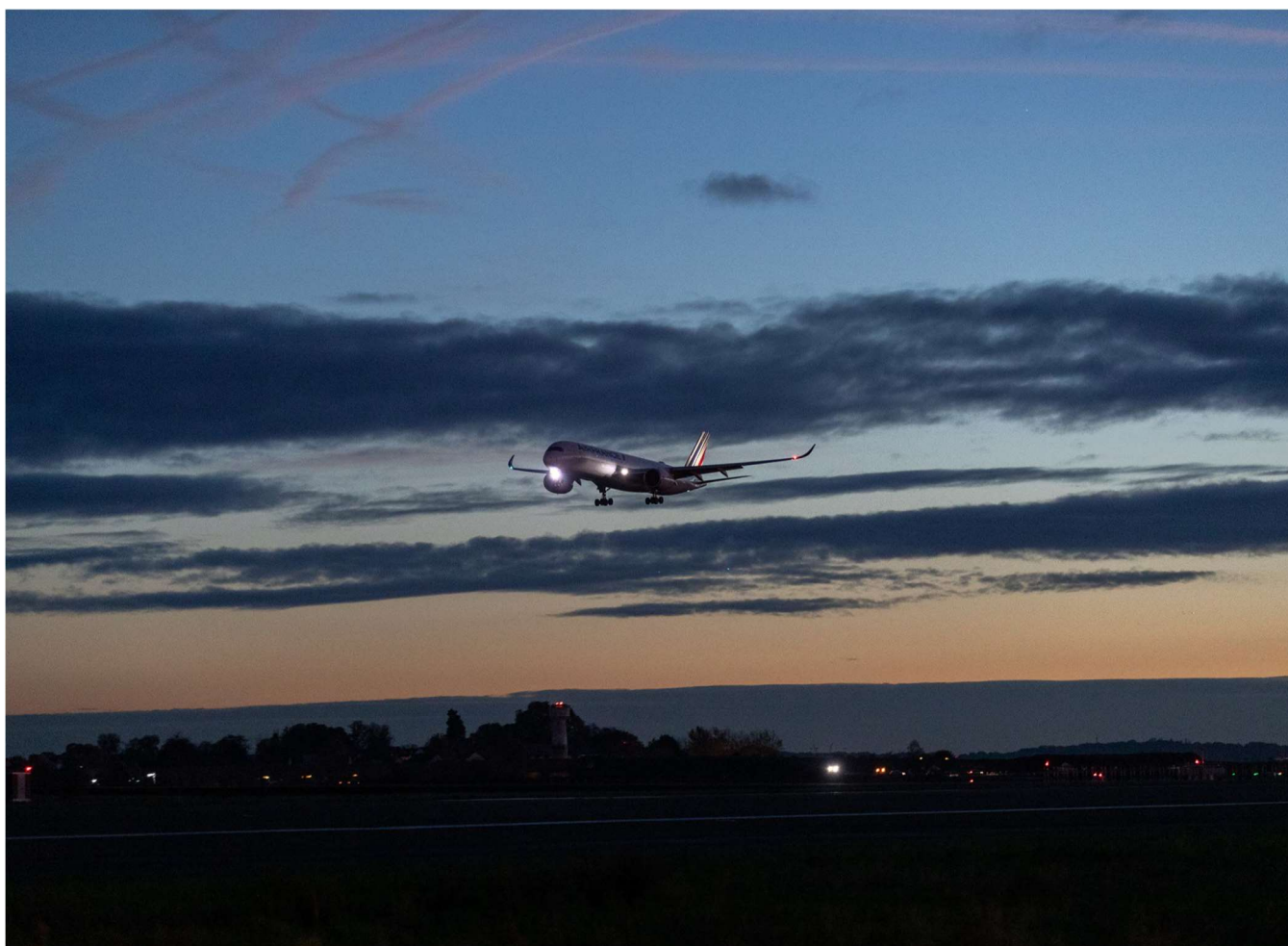


PLAN D'ACTION DE LA FRANCE

POUR LA REDUCTION DES EMISSIONS DE CO₂ DE
L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE



PLAN D'ACTION DE LA FRANCE POUR LA REDUCTION DES EMISSIONS DE CO₂ DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE

(Soumis conformément aux dispositions de la Résolution A37-19 de
l'Assemblée de l'OACI)

4^{ème} édition - Ce document a été mis à jour en décembre 2022

Photo de couverture : Service Technique de l'Aviation Civile (STAC)

La France est membre de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), agence des Nations Unies qui sert de forum mondial pour l'aviation civile internationale aux 193 Etats qui la composent, depuis la ratification de la Convention de Chicago en 1944.

Lors de sa 37^{ème} session en octobre 2010, l'Assemblée de l'OACI a adopté la résolution A 37-19 fixant des objectifs ambitieux en matière de limitation des émissions de CO₂ pour le secteur de l'aviation civile internationale, objectifs réaffirmés à l'occasion des sessions suivantes en 2013, 2016 et 2019, qui visent à améliorer le rendement du carburant de 2 % par an et à plafonner les émissions nettes de CO₂ au niveau de 2020 (croissance neutre en carbone, ou CNG pour *Carbon Neutral Growth*).

La résolution A 37-19 et celles qui lui ont succédé (A 38-18, A 39-2 et A 40-18) encouragent également les États à soumettre des plans d'action volontaires exposant les grandes lignes de leurs politiques et de leurs mesures respectives pour limiter les émissions de CO₂ de l'aviation internationale, et à rendre compte chaque année à l'OACI du niveau de ces émissions.

Ce document présente l'expérience accumulée par les Etats européens, et plus spécifiquement par les acteurs du transport aérien français, au travers des mesures mises en œuvre ou envisagées, destinées à réduire le niveau d'émissions de CO₂ de ce secteur.

Alors que le réchauffement climatique est un défi global qui pèse sur tous, il convient qu'il soit relevé collectivement. Pour cette raison, la France souhaite mettre à disposition de tous les acteurs concernés les pistes qu'elle a pu identifier, pour qu'elles puissent être répliquées et, comme il est souhaitable, améliorées.

Parce qu'il s'agit d'un défi complexe, face auquel tous les leviers doivent être envisagés et sollicités, l'ambition de ce plan est de recenser de la façon la plus exhaustive possible un éventail très large de toutes les options qui peuvent être mobilisées pour mener ce combat, y compris certaines au stade expérimental ou de projet, voire celles qui peuvent sembler offrir un effet limité, dès lors que toutes peuvent participer à cet effort collectif.

S'agissant, enfin, d'une politique évolutive, appelant chaque jour à de nouveaux développements, ce document a aussi vocation à être régulièrement actualisé et complété. Dans cette perspective, toutes remarques ou questions peuvent être adressées au contact suivant : olivier.meynot@aviation-civile.gouv.fr

SOMMAIRE

- Introduction commune aux plans d'action des Etats européens pour la réduction des émissions de CO₂ (page 6)
- Introduction spécifique à la France (page 8)
- SECTION 1 - Mesures prises collectivement en Europe (page 15)
- SECTION 2 - Actions nationales menées par la France (page 82)

Introduction commune aux plans d'action des Etats européens pour la réduction des émissions de CO₂

- a) La France est membre de l'Union européenne¹ et de la Conférence européenne de l'aviation civile (CEAC). Créée en 1955, la CEAC est une organisation intergouvernementale qui regroupe le plus grand nombre d'États de toutes les organisations européennes traitant de l'aviation civile ; elle est actuellement composée de 44 États membres².
- b) Les États membres de la CEAC partagent le point de vue selon lequel les incidences environnementales de l'aviation internationale doivent être atténuées pour préserver le développement futur de ce secteur, notamment compte tenu de la nécessité de respecter l'objectif fixé par l'OACI d'une croissance neutre en carbone à partir de 2020 (CNG2020). Ensemble, ils soutiennent pleinement les efforts que déploie l'OACI pour répondre à ces préoccupations, y compris au défi majeur posé par le changement climatique, et pour un développement durable du transport aérien international.
- c) Tous les États de la CEAC, en application de leur engagement dans la déclaration de Bratislava de 2016, soutiennent la mise en œuvre de CORSIA et ont notifié à l'OACI leur décision de participer volontairement au CORSIA dès le début de sa phase pilote et se sont effectivement engagés dans sa mise en œuvre.
- d) La France, comme l'ensemble des 44 États de la CEAC, est pleinement engagée et impliquée dans la lutte contre le changement climatique et œuvre en faveur d'un système de transport multimodal efficace en termes de ressources, compétitif et durable.
- e) La France reconnaît l'intérêt pour chaque État de préparer et de soumettre à l'OACI un plan d'action de l'État mis à jour pour la réduction des émissions de CO₂, qui représente également une étape importante vers la réalisation des objectifs collectifs mondiaux convenus depuis la 37^{ème} session de l'Assemblée de l'OACI en 2010.
- f) Dans ce contexte, il est prévu que tous les États de la CEAC soumettent à l'OACI un plan d'action.
- g) La France soutient pleinement le panier de mesures de l'OACI comme moyen essentiel pour atteindre l'objectif de l'Organisation en matière de CNG2020, et partage l'avis de tous les États de la CEAC selon lequel une approche globale de la réduction des émissions de CO₂ de l'aviation est nécessaire et que cette approche devrait inclure :
 - i. la réduction des émissions à la source, notamment via une forte implication européenne aux travaux du comité de protection de l'environnement en aviation (*Committee on Aviation Environmental Protection / CAEP*) dans ce domaine (processus de normalisation) ;
 - ii. la recherche et le développement en matière de technologies de réduction des émissions, y compris au travers de partenariats public-privé ;

¹ Union européenne : Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Slovaquie, Slovénie, et Suède.

² CEAC : Albanie, Allemagne, Arménie, Autriche, Azerbaïdjan, Belgique, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Géorgie, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Moldavie, Monaco, Monténégro, Macédoine du Nord, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Saint-Marin, Serbie, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse, Turquie et Ukraine.

- iii. le développement et le déploiement de carburants d'aviation durables, y compris la recherche et les initiatives opérationnelles entreprises conjointement avec les parties prenantes ;
 - iv. l'amélioration et l'optimisation de la gestion du trafic aérien et de l'utilisation des infrastructures en Europe, en particulier grâce au programme SESAR (*Single European Sky ATM Research*), et également au-delà des frontières européennes par la participation à des initiatives de coopération internationale ; et
 - v. les mesures basées sur le marché, qui permettent au secteur de continuer à se développer de manière durable et efficace, en reconnaissant que les mesures (i) à (iv) ci-dessus, même agrégées, ne permettent pas de réduire à temps les émissions de CO₂ pour atteindre l'objectif mondial de CNG de l'OACI pour 2020.
- h) En Europe, bon nombre des actions entreprises dans le cadre de cette approche globale sont en pratique menées collectivement, la plupart sous la direction de l'Union européenne. Elles sont présentées dans la section 1 du présent plan d'action, où la participation de la France est décrite ainsi que celle d'autres parties prenantes.
- i) En France, un certain nombre d'actions sont entreprises au niveau national, y compris par les parties prenantes. Ces actions nationales sont présentées dans la section 2 de ce plan.
- j) En ce qui concerne les actions européennes, il est important de noter que :
- i. le degré de participation variera d'un État à l'autre, en fonction des priorités et de la situation de chaque État (situation économique, taille de son marché de l'aviation, contexte historique et institutionnel, tel que membre de l'Union européenne ou non). Les États de la CEAC sont donc impliqués à différents degrés et selon des calendriers différents dans la réalisation de ces actions communes. Lorsqu'un État supplémentaire se joint à une action collective, y compris à un stade ultérieur, l'effet de la mesure s'en trouve élargi, ce qui accroît la contribution européenne à la réalisation des objectifs mondiaux ;
 - ii. agissant de concert, les États de la CEAC ont pris des mesures pour réduire les émissions de la région par une approche globale. Certaines de ces mesures, bien qu'elles ne soient mises en œuvre que par certains des 44 États de la CEAC, ont néanmoins des effets bénéfiques sur la réduction des émissions dans l'ensemble de la région (par exemple la recherche, la promotion des carburants d'aviation durables, ou le SEQE-UE).
-

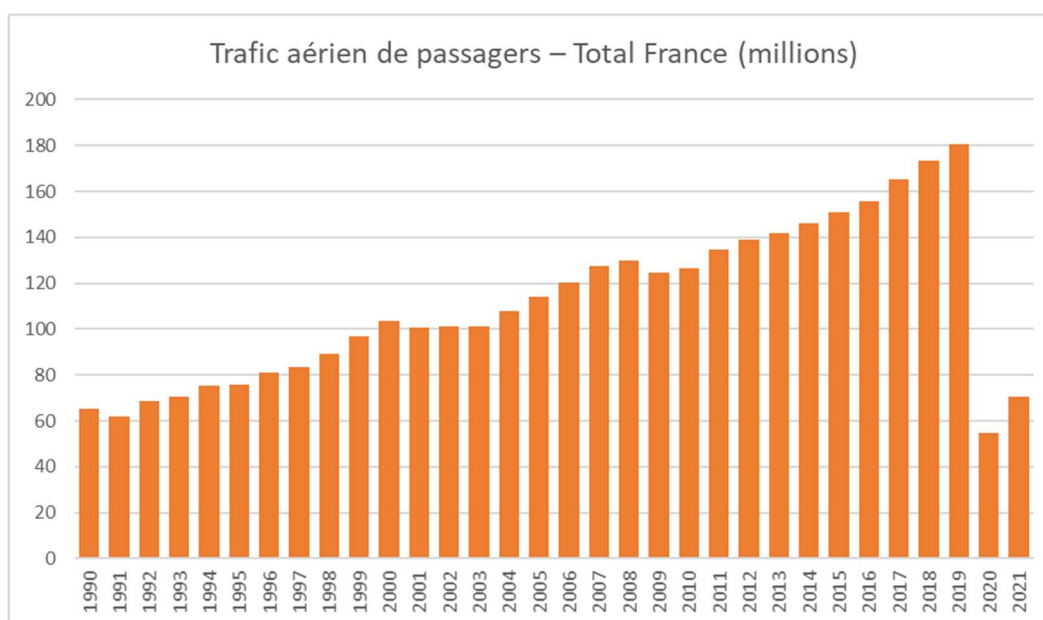
Introduction spécifique à la France

Le transport aérien commercial en France et ses émissions

Éléments relatifs au trafic aérien français :

Le trafic aérien français a connu, comme au niveau mondial, une croissance rapide ces dernières décennies. Si quelques crises mondiales, économiques ou sécuritaires, ont provoqué des ralentissements ponctuels, rien n'a encore remis en cause cette tendance de fond.

La crise sanitaire liée au covid-19 a, quant à elle, provoqué une situation de chute brutale et spectaculaire du trafic, comme jamais rencontrée dans l'histoire aérienne.

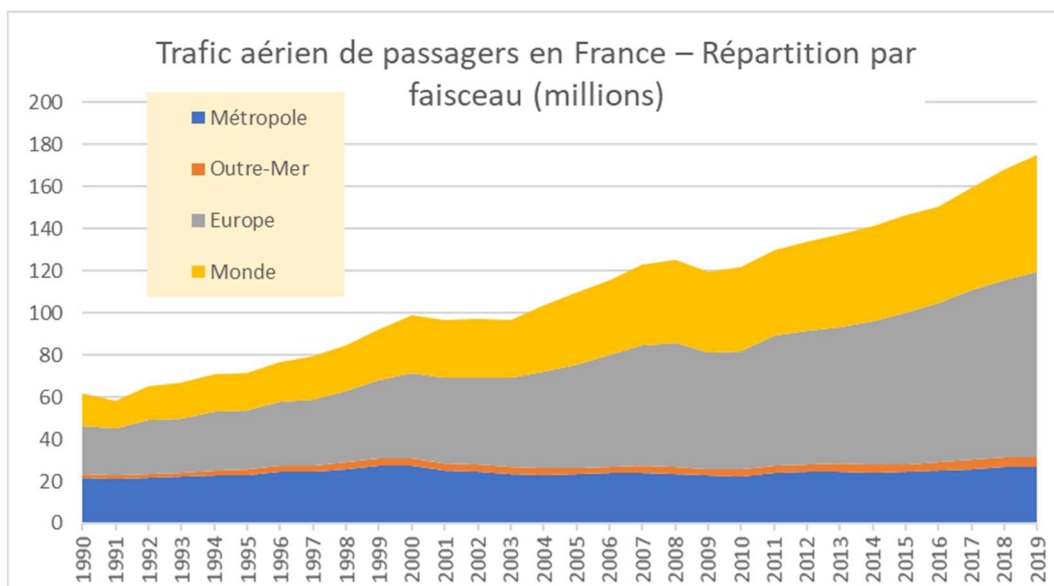


Les années 2020-2021 sont exclues des analyses suivantes car leur caractère exceptionnel masque les tendances.

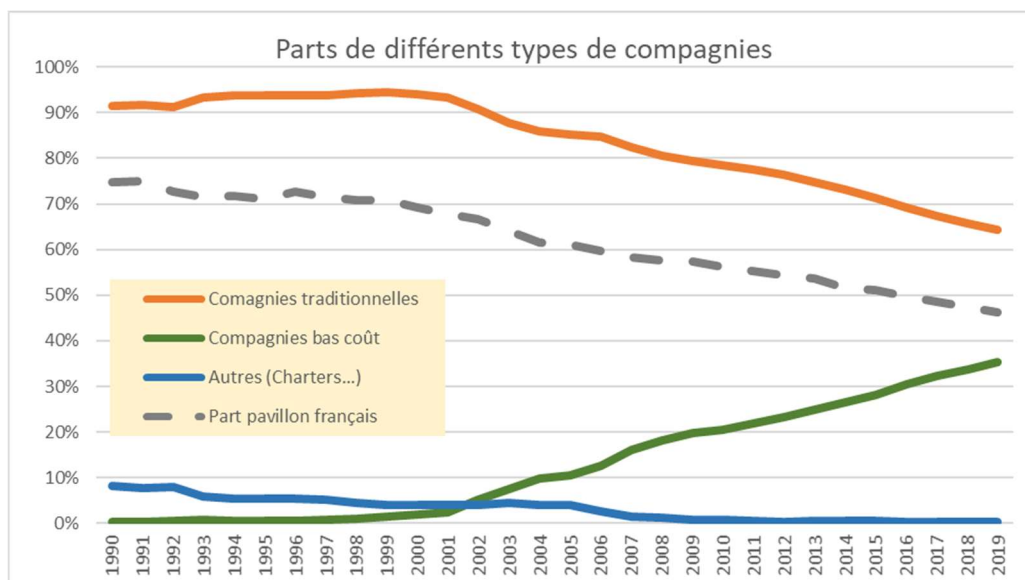
Le trafic en nombre de passagers a presque triplé en 30 ans (croissance moyenne 3,6 %), pendant que :

- les distances parcourues augmentaient de 30 %, principalement pendant la décennie 1990 ;
- les tailles moyennes d'avions augmentaient de 120 à 150 sièges ;
- les taux de remplissages progressaient de 60 % à plus de 80 %.

Si le trafic domestique, métropolitain ou vers l'Outre-Mer, a légèrement progressé, c'est à l'international, et particulièrement au sein de la zone Europe que l'évolution est la plus rapide.



La croissance du trafic s'est accompagnée d'une baisse des tarifs et d'une évolution de la structure du marché du transport aérien, avec l'émergence puis la montée en puissance des transporteurs à bas coûts, la disparition des charters, et un recul régulier de la part de passagers transportés par des compagnies sous pavillon français.



Les compagnies aériennes ayant représenté en 2019 plus de 1 % du trafic passagers :

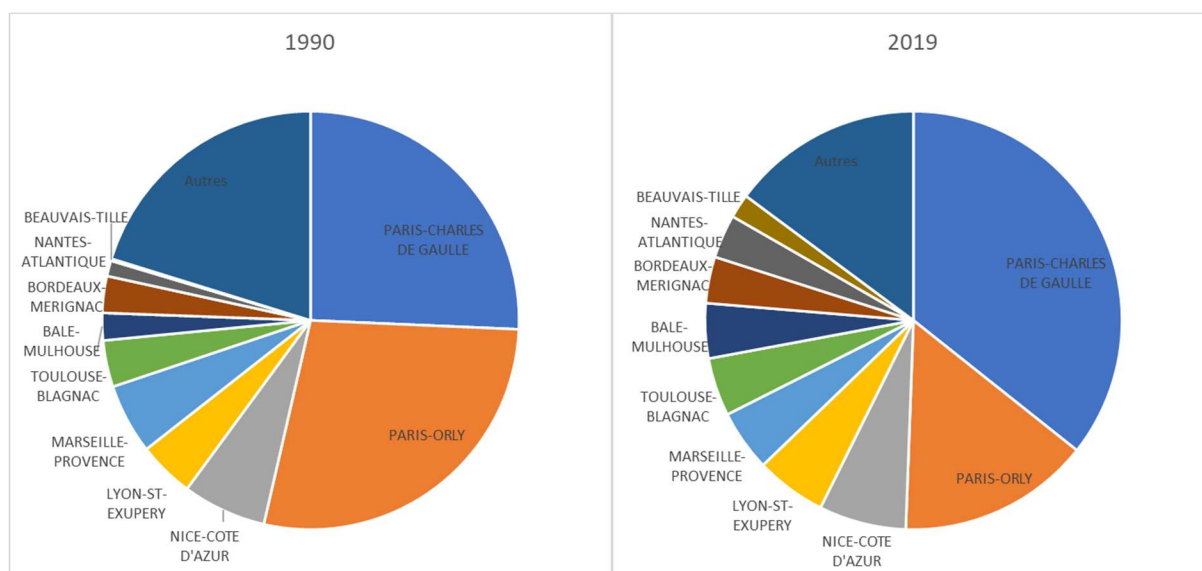
Compagnie	Millions de passagers	Part du trafic France
AIR FRANCE	52	29 %
EASYJET EUROPE	26	14 %
RYANAIR	11	6 %
TRANSAVIA FRANCE	7	4 %
VUELING AIRLINES	6	3 %
LUFTHANSA	4	2 %
VOLOTEA	3	2 %
AIR ALGERIE	3	2 %
BRITISH AIRWAYS	3	1 %
AIR CORSICA	2	1 %
DELTA AIR LINES	2	1 %
WIZZ AIR	2	1 %

Elles représentent un total de 67 % du trafic. Au-delà, une centaine de compagnies aériennes ont transporté entre 100 000 et 2 millions de passagers. Les 2 % restants sont transportés par des compagnies plus petites ou desservant la France de manière marginale.

Les aéroports :

La France comptait, en 2019, 87 aéroports en France métropolitaine et en Outre-Mer accueillant plus de 10 000 passagers commerciaux sur des vols intérieurs (56 pour les vols internationaux).

Cependant la majorité du trafic est portée par les principales plateformes parisiennes et régionales, la tendance étant à la concentration sur ces principaux terrains, en particulier avec le développement rapide du hub d'Air France à Roissy-Charles de Gaulle (CDG).



Répartition du trafic en 2019 :

La répartition du trafic 2019 sur les aéroports ayant enregistré en 2019 plus de 1 million de passagers, soit 94 % du trafic total, est la suivante :

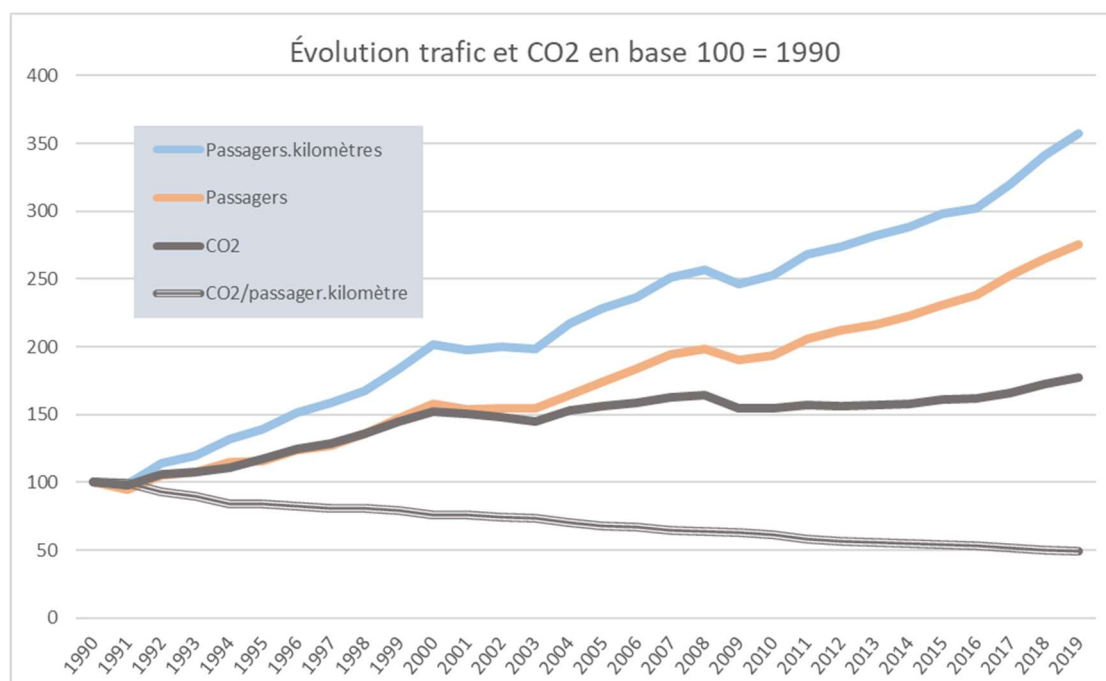
Aéroport	Millions de passagers	Part du trafic France
PARIS-CHARLES DE GAULLE	76	36 %
PARIS-ORLY	32	15 %
NICE-COTE D'AZUR	14	7 %
LYON-ST-EXUPERY	12	5 %
MARSEILLE-PROVENCE	10	5 %
TOULOUSE-BLAGNAC	10	5 %
BALE-MULHOUSE	9	4 %
BORDEAUX-MERIGNAC	8	4 %
NANTES-ATLANTIQUE	7	3 %
BEAUVAIS-TILLE	4	2 %
LA REUNION-ROLAND GARROS	2	1 %
POINTE-A-PITRE-LE RAIZET	2	1 %
LILLE-LESQUIN	2	1 %
MARTINIQUE-AIME CESAIRE	2	1 %
MONTPELLIER-MEDITERRANEE	2	1 %
AJACCIO-NAPOLEON-BONAPARTE	2	1 %

BASTIA-PORETTA	2	1 %
TAHITI FAA'A	1	1 %
STRASBOURG-ENTZHEIM	1	1 %
BREST-BRETAGNE	1	1 %
BIARRITZ-PAYS-BASQUE	1	0 %

Les émissions du transport aérien :

En termes d'émissions de gaz à effet de serre, la forte croissance du trafic s'est accompagnée d'une progression nettement plus modérée de la consommation de carburant et de ses émissions conséquentes. Pour un trafic en passagers kilomètres transportés (PKT) qui a progressé de plus de + 250 % sur 3 décennies, les émissions de CO₂ ont augmenté de + 77 %.

Les raisons de cette progression plus modérée sont à la fois liées aux opérations, i.e. utilisation d'avions plus gros et donc plus efficaces et amélioration des taux de remplissage, mais surtout au renouvellement des flottes par des appareils plus récents et plus économes.



Émissions du transport aérien français :

En matière de gaz à effet de serre, les inventaires consolidés des émissions du transport aérien commercial évaluent sa part à environ 2 % des émissions mondiales de CO₂.

En ce qui concerne les chiffres du transport aérien français, le bilan des émissions de CO₂ réalisé par la direction générale de l'Aviation civile (DGAC) française fait ressortir les chiffres suivants pour l'année 2019 :

- ✓ en 2019, les émissions de CO₂ pour le transport aérien en France se sont élevées à 23,4 Mt (millions de tonnes) ; elles sont en progression de + 2,6 % par rapport à

2018, le trafic ayant progressé de + 3,0 % en passagers-équivalents et de + 2,6 % en passagers-équivalents-km transportés (PKTeq) ;

- ✓ avec 4,8 Mt en 2019, la part du transport intérieur dans les émissions de CO₂ du transport aérien est de 20,5 %, dont une proportion importante liée à la desserte Métropole/Outre-mer (2,7 Mt). Depuis 2000, les émissions de CO₂ pour le trafic intérieur métropole sont en nette diminution (- 27 %) ;
- ✓ les émissions de CO₂ du transport aérien international 2019 (18,5 Mt de CO₂) représentent 79,5 % des émissions du transport aérien, et sont en progression de + 40 % par rapport à 2000, pour un trafic ayant augmenté de + 79 % (en PKTeq).

Selon l'inventaire national des émissions 2019 au format CCNUCC sur le périmètre France, la part du secteur aérien imputée à la France (5,0 Mt correspondant au trafic domestique selon l'estimation de la DGAC) représentait respectivement 3,8 % des émissions de CO₂ du secteur des transports (132,1Mt) et 1,5 % des émissions de la France (332,5 Mt) ; après réintégration des soutes internationales (aériennes et maritimes) dans les bilans, le secteur aérien représente respectivement 15,6 % des émissions des transports et 6,8 % du total des émissions de CO₂ de la France.

La France compte 17 exploitants qui dépassent 10 000 tonnes de CO₂ par an sur leurs liaisons internationales et qui seront donc soumis aux obligations de compensation liées au CORSIA. Les données reçues de ces exploitants permettent d'estimer leurs émissions internationales à 14 450 694 tonnes de CO₂ pour l'année 2019.

Le bilan des émissions de CO₂ de l'aviation, réalisé par la DGAC, montre que les efforts du secteur pour diminuer ses émissions portent leurs fruits. Ainsi, entre 2000 et 2019, ces émissions ont progressé de + 24,6 % pour un nombre de passagers-équivalents-kilomètres-transportés (PKTeq) en augmentation de + 66,5 %, soit une diminution de - 25 % des émissions unitaires (en kg de CO₂ par passager-équivalent-km transporté), correspondant à une décroissance moyenne de - 1,5 % par an.

Mais l'urgence écologique, qui plus est dans un contexte de croissance du transport aérien mondial, impose de continuer, et même d'accélérer la transition amorcée, ce que la France, et tous les acteurs du transport aérien, en lien avec leurs partenaires européens, s'engagent à poursuivre.

La crise covid-19 :

Avec la crise sanitaire et les mesures associées, le trafic aérien a été dramatiquement affecté, 2020 et 2021 représentant respectivement 30 % et 39 % du trafic 2019. L'année 2022 devrait se situer aux alentours de 80 % du trafic de 2019, alors qu'un retour aux niveaux de 2019 est attendu pour 2024-2025, avec des taux de croissance plus en phase avec les grandes tendances historiques.

SECTION 1 - Mesures prises collectivement en Europe

Résumé exécutif

- A. Scénario de base de la CEAC et avantages estimés des mesures mises en œuvre
- B. Actions menées collectivement en Europe
 - 1. Technologie et normes
 - 1.1. Normes d'émissions des aéronefs
 - 1.2. La recherche et le développement : Clean Sky et le Partenariat européen pour une aviation propre
 - 2. Carburants d'aviation durables (SAF)
 - 2.1. Initiative *ReFuelEU* pour l'aviation
 - 2.2. S'attaquer aux obstacles à la pénétration des SAF sur le marché
 - 2.3. Normes et exigences relatives à l'utilisation des SAF
 - 2.4. Projets de recherche et de développement
 - 3. Améliorations opérationnelles
 - 3.1 L'initiative Ciel unique européen de l'UE et SESAR
 - 4. Mesures basées sur le marché
 - 4.1 Le système d'échange de quotas d'émission de l'UE et ses liens avec d'autres systèmes (SEQE suisse et SEQE britannique)
 - 4.2. Le système de compensation et de réduction du carbone pour l'aviation internationale
 - 5. Mesures supplémentaires
 - 5.1. Accréditation ACI Airport Carbon
 - 5.2. Feuille de route de l'industrie européenne pour une aviation européenne nette zéro : Destination 2050
 - 5.3. Programme de label environnemental
 - 5.4. Projets multilatéraux de renforcement des capacités
 - 5.5. Projets de recherche et d'innovation des aéroports verts
 - 6. Avantages supplémentaires pour les secteurs domestiques
 - 6.1. Accréditation ACI Airport Carbon
 - 6.2. Initiative *ReFuelEU* pour l'aviation
 - 6.3. SAF : projets de recherche et de développement

6.4 L'initiative Ciel unique européen de l'UE et SESAR

6.5. Projets de recherche et d'innovation des aéroports verts

ANNEXE A : Résultats détaillés des scénarios de la CEAC de la section A

APPENDICE B : Note sur les méthodes de comptabilisation des émissions de CO₂ attribuées aux vols internationaux

Plan d'action des Etats européens pour la réduction des émissions de CO₂ - section commune UE / CEAC

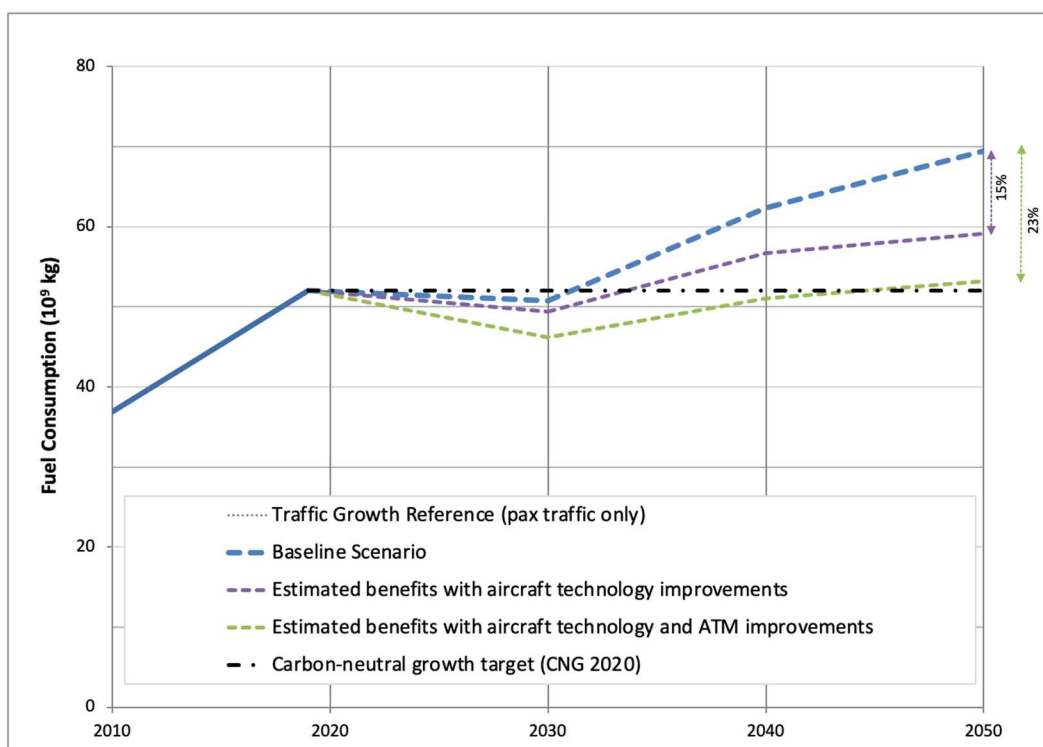
Avertissement : cette section commune aux Etats de la CEAC a été rédigée en juin 2021, et donc ne tient pas compte des derniers développements en Europe, notamment ceux liés aux textes en cours de discussion au niveau de l'Union européenne dans le cadre du paquet « Fit for 55 ».

Résumé exécutif

La section européenne de ce plan d'action présente un résumé des mesures prises collectivement dans les 44 États de la CEAC pour réduire les émissions de CO₂ du secteur aéronautique et qui sont pertinentes pour chaque État, et fournit une évaluation de leurs avantages par rapport à un scénario de référence de la CEAC. Il fournit également une description des mesures futures visant à fournir des économies supplémentaires de CO₂.

L'aviation est un secteur fondamental pour l'économie européenne, et un moyen très important de connectivité, de développement des affaires et des loisirs pour les citoyens européens et les visiteurs. Depuis plus d'un siècle, l'Europe encourage le développement de nouvelles technologies et les innovations pour mieux répondre aux besoins et aux préoccupations de la société, notamment en s'attaquant aux émissions sectorielles qui affectent le climat.

Depuis 2019, la pandémie de COVID-19 a généré une tragédie humaine mondiale, une crise économique globale et une perturbation sans précédent du trafic aérien, modifiant considérablement la croissance et les modèles de l'aviation européenne et impactant lourdement l'industrie aéronautique. La politique européenne de relance du transport aérien vise à accélérer la réalisation des ambitions européennes en matière d'aviation et de changement climatique.



Technologie liée aux aéronefs

Les Etats européens ont activement contribué à soutenir les avancées au sein du CAEP de l'OACI. Cette contribution en termes de ressources, de capacité d'analyse et de codirection a permis de faire évoluer les normes de certification mondiales, ce qui a contribué à stimuler la demande du marché vis-à-vis des améliorations technologiques. L'Europe est désormais pleinement engagée dans la mise en œuvre de la norme CO₂ de l'OACI de 2017 pour les aéronefs nouvellement construits, et dans la nécessité de la réviser régulièrement pour tenir compte de l'évolution du rendement énergétique des avions.

Les améliorations environnementales dans les États de la CEAC sont stimulées par les connaissances nouvelles, et l'entreprise commune Clean Sky de l'UE, qui vise à développer et à faire mûrir des "technologies propres" révolutionnaires, est à l'avant-garde de ce processus. La deuxième entreprise commune (Clean Sky 2 - 2014-2024) a pour objectif de réduire les émissions et le bruit des avions de 20 à 30 % par rapport aux dernières technologies mises en service en 2014. Dans le cadre du programme Horizon Europe pour la recherche et l'innovation, la Commission européenne a proposé la création d'un Partenariat européen pour l'aviation propre (*European Partnership for Clean Aviation - EPCA*) qui suivra les traces de Clean Sky 2, en reconnaissant et en exploitant l'interaction entre les aspects environnementaux, sociaux et de compétitivité de l'aviation civile, tout en maintenant une croissance économique durable. Pour que de tels partenariats public-privé de haut niveau technologique soient couronnés de succès, et bénéficient ainsi de ce plan d'action sur le CO₂ et de ceux à venir, il est essentiel d'obtenir les financements appropriés.

Les principaux efforts déployés dans le cadre de Clean Sky 2 incluent de nombreuses technologies pilotes : pour les avions de transport de passagers de toute taille, amélioration des performances et polyvalence de nouveaux concepts, structures et matériaux de cellule innovants, nouvelle architecture des moteurs, nouveaux systèmes, ainsi que prise en compte de la fin de vie des appareils. Cela représente un riche flux d'idées et de concepts qui, avec un soutien continu, arriveront à maturité et contribueront à atteindre les objectifs de limitation du changement climatique mondial. Le nouveau Partenariat européen pour l'aviation propre a des objectifs conformes à ceux du "Green Deal" européen (Pacte vert), à savoir atteindre la neutralité climatique en 2050, et se concentrera sur le développement de technologies disruptives et un impact maximal.

Carburants d'aviation durables (SAF)

Les États de la CEAC sont favorables à l'introduction de carburants d'aviation durables (*Sustainable Aviation Fuel, SAF*), conformément à la vision 2050 de l'OACI, et prennent des mesures collectives pour surmonter les nombreux obstacles actuels à la disponibilité ou à l'utilisation généralisée des SAF dans les aéroports européens.

Les mesures collectives européennes relatives aux SAF incluses dans ce plan d'action se concentrent sur les avantages de la réduction du CO₂. Néanmoins, les SAF présentent l'avantage supplémentaire de réduire les émissions de polluants atmosphériques de particules non-volatiles (nvPM), ce qui peut apporter d'autres avantages importants sur le climat, autres que le CO₂, qui ne sont pas spécifiquement évalués dans le cadre de ce plan.

Au niveau de l'Union européenne, l'initiative réglementaire « ReFuelEU Aviation » vise à stimuler l'offre et la demande de SAF dans les aéroports de l'UE, tout en maintenant des conditions de concurrence équitables sur le marché du transport aérien. Cette initiative a abouti à une proposition législative en cours d'examen. La section européenne commune de ce plan d'action fournit également un aperçu des exigences actuelles en matière de durabilité et d'émissions sur le cycle de vie applicables aux SAF dans les États de l'Union

européenne, ainsi que des estimations des valeurs du cycle de vie pour un certain nombre de voies technologiques et de matières premières.

Un travail collectif a également été développé à travers l'Agence européenne de sécurité aérienne (AESA) sur l'élimination des obstacles à la pénétration des SAF sur le marché.

Le programme européen de recherche et d'innovation donne d'ailleurs une impulsion aux technologies innovantes pour surmonter ces obstacles, comme le montre le nombre de projets de recherche européens récemment mis en place et dont le lancement est prévu à court terme.

Amélioration de la gestion du trafic aérien

La politique du Ciel unique européen (*Single European Sky, SES*) de l'Union européenne vise à transformer la gestion du trafic aérien (*Air Traffic Management, ATM*) en Europe en vue de la fourniture de services numériques, de l'augmentation des capacités et de la réduction des coûts ATM, avec un niveau élevé de sécurité et un impact environnemental réduit de 10 %. La politique du Ciel unique européen comporte plusieurs éléments, dont l'un est le développement et le déploiement de solutions techniques et opérationnelles innovantes en matière de gestion du trafic aérien.

SESAR 1 (de 2008 à 2016), SESAR 2020 (lancé en 2016) et SESAR 3 (démarrage en 2022) sont les programmes de l'UE pour le développement des solutions SESAR. Les solutions SESAR déjà développées et validées sont capables de fournir : 21 % de capacité d'espace aérien supplémentaire ; 14 % de capacité aéroportuaire supplémentaire ; une réduction de 40 % du risque d'accident ; 2,8 % d'émissions de gaz à effet de serre en moins ; et une réduction de 6 % des coûts de vol. Les futurs systèmes de gestion du trafic aérien permettront de mettre en œuvre des "opérations basées sur la trajectoire" et des "opérations basées sur les performances".

Une grande partie de la recherche pour développer ces solutions est en cours et les résultats publiés des nombreuses actions de démonstration antérieures confirment le défi mais nous donnent confiance dans le fait que les objectifs seront atteints dans la région de la CEAC avec un large potentiel pour être reproduit dans d'autres régions.

Mesures basées sur le marché (*Market Based Measures - MBMs*)

Les États de la CEAC, en application de leur engagement de la déclaration de Bratislava de 2016, ont notifié à l'OACI leur décision de participer volontairement au système CORSIA (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*) dès sa phase pilote, et se sont effectivement engagés dans sa mise en œuvre ; ils encouragent les autres États à faire de même et à rejoindre CORSIA.

Les États de la CEAC ont toujours été de fervents partisans d'un système de mesures fondées sur le marché pour l'aviation internationale afin d'encourager et de récompenser les bons investissements et les bons choix opérationnels, et ont donc accueilli favorablement l'accord sur CORSIA.

Les 30 États de l'Espace économique européen (EEE)³ ont déjà mis en œuvre le système d'échange de quotas d'émission de l'UE (SEQE-UE / *EU-ETS*), qui inclut le secteur de l'aviation avec environ 500 exploitants d'aéronefs participant à l'approche de plafonnement et d'échange visant à limiter les émissions de CO₂. Sous réserve de préserver l'intégrité et l'efficacité environnementales, il est prévu que la législation SEQE de l'UE continue d'être adaptée pour mettre en œuvre CORSIA.

³ L'EEE comprend les pays de l'UE ainsi que l'Islande, le Liechtenstein et la Norvège.

Grâce à l'accord de couplage avec la Suisse, le système d'échange de quotas d'émission de l'UE a été étendu à tous les vols au départ de l'EEE vers la Suisse depuis 2020, et la Suisse applique son système d'échange de quotas d'émission à tous les vols au départ de son territoire vers les aéroports de l'EEE, ce qui garantit des conditions de concurrence équitables dans les deux sens.

Conformément à l'accord de commerce et de coopération entre l'UE et le Royaume-Uni conclu en décembre 2020, le SEQE-UE continuera de s'appliquer aux vols au départ de l'EEE vers le Royaume-Uni, tandis qu'en vertu du SEQE britannique une tarification effective du carbone s'appliquera aux vols au départ du Royaume-Uni vers l'EEE.

Entre 2013 et 2020, le SEQE a permis d'économiser environ 200 millions de tonnes d'émissions de CO₂ pour l'aviation intra-européenne.

Scénarios de la CEAC pour le trafic et les émissions de CO₂

Les scénarios présentés dans cette section commune aux plans d'action des Etats de la CEAC prennent en compte les impacts de la crise COVID-19 sur le transport aérien, dans la mesure du possible, et avec un certain degré d'incertitude inévitable. Les meilleures données disponibles sont tirées de la publication régulière par EUROCONTROL d'évaluations complètes de la dernière situation du trafic en Europe.

Malgré l'exceptionnel recul du trafic passagers dû à la pandémie de COVID-19, qui a frappé l'économie européenne, le tourisme et le secteur lui-même, l'aviation devrait continuer à croître à long terme, se développer et se diversifier dans les États de la CEAC. Le trafic de fret aérien n'a pas été touché comme le reste du trafic et donc, bien que les données disponibles concernent principalement le trafic de passagers, on peut s'attendre à des résultats pour le trafic de fret similaires à ceux prévus avant la crise sanitaire, qu'il s'agisse de fret en soute ou d'appareils cargos dédiés.

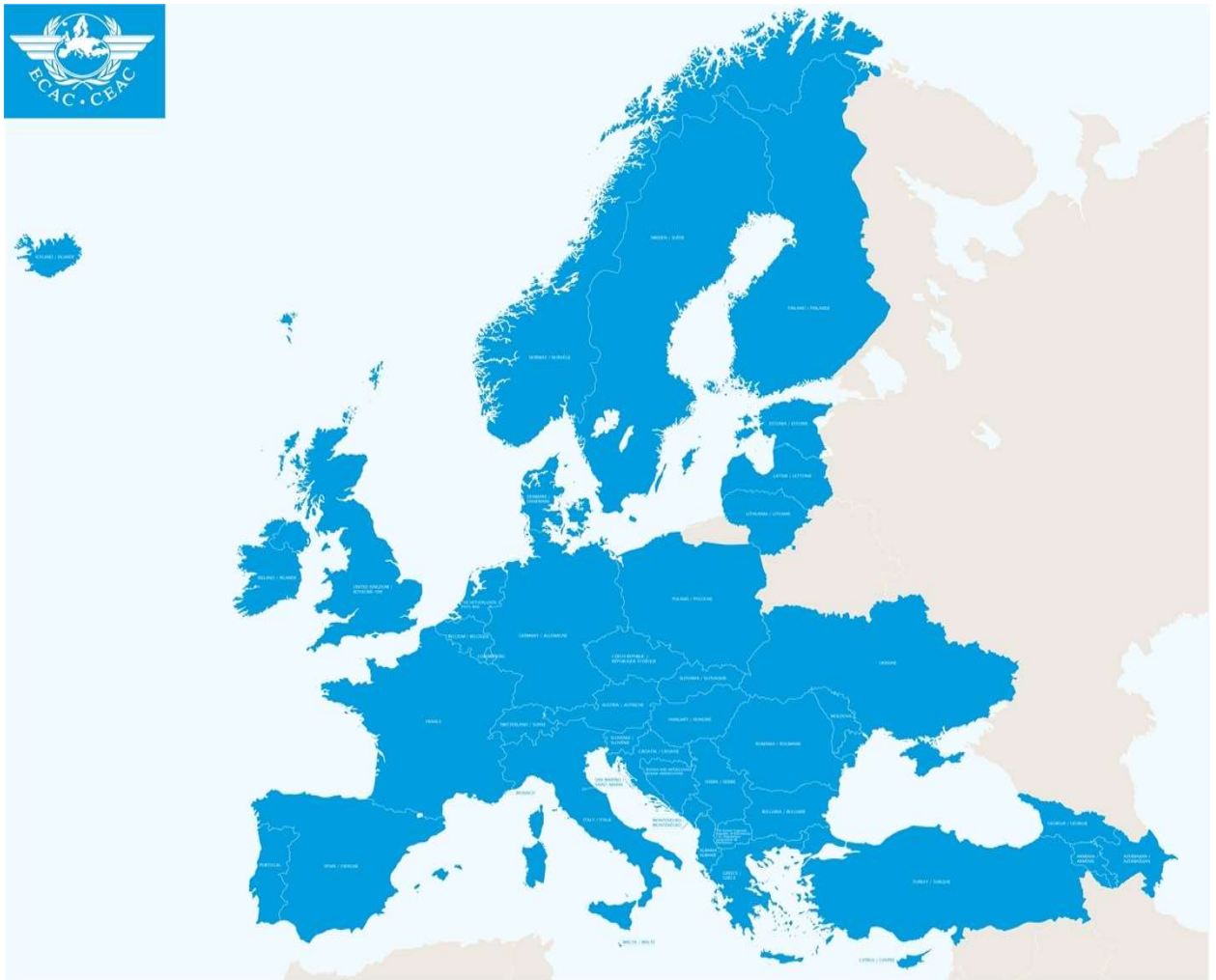
L'analyse d'EUROCONTROL et de l'AESA a identifié les scénarios les plus probables des influences sur le trafic futur et a modélisé ces hypothèses pour les années à venir. Sur la base de ces prévisions de trafic, la consommation de carburant et les émissions de CO₂ de l'aviation ont été estimées à la fois pour un scénario de référence théorique (sans aucune mesure d'atténuation supplémentaire) et pour un scénario intégrant les avantages estimés des mesures d'atténuation mises en œuvre depuis 2019 qui sont présentées dans ce plan d'action.

Selon les hypothèses de base de croissance du trafic et de renouvellement de la flotte avec comme référence la technologie de 2019, les émissions de CO₂ augmenteraient considérablement à long terme pour les vols au départ des aéroports de la CEAC sans mesures d'atténuation. La modélisation de l'impact de l'amélioration de la technologie des aéronefs pour le scénario avec mesures d'atténuation indique une réduction globale de 15 % de la consommation de carburant et des émissions de CO₂ en 2050 par rapport au scénario de référence. Bien que les données permettant de modéliser les avantages des améliorations de la gestion du trafic aérien soient peut-être moins solides, ces améliorations n'en constituent pas moins des contributions précieuses pour réduire davantage les émissions de CO₂. Les émissions globales de CO₂, en intégrant les effets des nouveaux types d'aéronefs et des mesures liées à l'ATM, devraient s'améliorer pour aboutir à une réduction de 23 % en 2050 par rapport au scénario de référence.

Dans la partie commune de ce plan d'action, le potentiel des carburants aéronautiques durables et les effets des mesures basées sur le marché n'ont pas été simulés en détail. Notamment, CORSIA étant une mesure mondiale, et non européenne, l'évaluation de ses avantages n'a pas été jugée nécessaire aux fins des plans d'action nationaux. Mais elles devraient toutes deux contribuer à atteindre l'objectif de croissance neutre en carbone de

l'OACI pour 2020. Au fur et à mesure de l'évolution des politiques et des technologies, de nouvelles analyses permettront d'améliorer la modélisation des émissions futures.

A. SCENARIO DE BASE DE LA CEAC ET AVANTAGES ESTIMES DES MESURES D'ATTENUATION MISES EN ŒUVRE



Scénario de base de la CEAC et estimation des avantages des mesures d'atténuation mises en œuvre

1. Scénario de base de la CEAC

Le scénario de base est destiné à servir de référence pour les émissions de CO₂ de l'aviation européenne en l'absence de mesures d'atténuation, telles que décrites plus loin dans ce document. Les données sources (2010, 2019) et de prévisions (pour 2030, 2040 et 2050) ci-après ont été fournies par EUROCONTROL à cette fin :

- le trafic aérien européen (i.e. tous les vols commerciaux internationaux au départ des aéroports de la CEAC, en nombre de vols, passagers-kilomètres payants (RPK) et tonnes-kilomètres payantes (RTK)) ;
- la consommation de carburant agrégée associée ; et
- les émissions de CO₂ qui y sont associées.

Les données de prévisions correspondent aux volumes de trafic projetés dans le scénario "Régulation et croissance" d'EUROCONTROL, tandis que la consommation de carburant et les émissions de CO₂ correspondantes sont basées sur le niveau technologique de l'année 2019 (c'est-à-dire sans tenir compte des réductions d'émissions pouvant résulter de nouvelles améliorations technologiques liées aux aéronefs, de l'amélioration de la gestion du trafic aérien et des opérations, des carburants d'aviation durables ou des mesures basées sur le marché).

Le scénario de trafic « Régulation et croissance »

Comme dans toutes les prévisions produites par EUROCONTROL, divers scénarios sont élaborés avec une trame spécifique et un mélange de caractéristiques. L'objectif est d'améliorer la compréhension des facteurs qui influenceront la croissance future du trafic et les risques à venir. Les dernières prévisions à long terme d'EUROCONTROL⁴ ont été publiées en juin 2018, examinant l'évolution du trafic en termes de mouvements IFR (*Instrument Flight Rules*) jusqu'en 2040.

Dans cette publication, le scénario appelé "Régulation et croissance" est construit comme le scénario "le plus probable" ou "de référence" pour le trafic, celui qui suit le plus fidèlement les tendances actuelles⁵. Il envisage une croissance économique modérée, avec une certaine régulation, notamment en ce qui concerne les exigences sociales et économiques.

Parmi les modèles appliqués par EUROCONTROL pour la prévision, le sous-modèle du trafic passagers est le plus développé, s'articulant autour de cinq grands groupes de facteurs pris en compte :

- les facteurs de l'**économie mondiale** représentent les principaux développements économiques à l'origine de la demande de transport aérien ;
- les facteurs qui caractérisent les **passagers** et leurs préférences en matière de voyage, modifient les tendances de la demande et des destinations de voyage ;

⁴ [Les défis de la croissance - Annexe 1 - Prévisions de vols à l'horizon 2040, EUROCONTROL, septembre 2018](#)

⁵ Avant l'épidémie de COVID-19.

- **le prix des billets** fixé par les compagnies aériennes pour couvrir leurs coûts d'exploitation influence les décisions de voyage des passagers et leur choix de transport ;
- **le nombre de réseaux en étoile ou de réseaux point à point** peut modifier le nombre de correspondances et de vols nécessaires pour se rendre de l'origine à la destination ;
- **la structure du marché** décrit la taille des aéronefs utilisés pour satisfaire la demande des passagers (modélisée à l'aide de l'outil d'affectation des aéronefs *Aircraft Assignment Tool / AAT*).

Le Tableau 1 ci-dessous présente un résumé des composantes sociales, économiques et liées au trafic aérien de trois scénarios différents élaborés par EUROCONTROL. L'année 2016 a servi d'année de référence pour les résultats des prévisions à 20 ans⁴ (publiés en 2018 par EUROCONTROL). Les données historiques pour l'année 2019 sont également présentées ultérieurement à titre de référence.

	Croissance mondiale	Régulation et croissance	Un monde fragmenté
Croissance du trafic en 2023	Forte ↗	Base →	Faible ↘
Passager	Vieillissante	Vieillissante	Vieillissante
Démographie (Population)	Option « fertilité moyenne » de l'ONU	Option « fertilité moyenne » de l'ONU	Option « sans migration » de l'ONU
Routes et destinations	Longs courriers ↗	Identique →	Longs courriers ↘
Ciels ouverts	Élargissement de l'UE tardive + Extrême-Orient et Moyen-Orient	Élargissement de l'UE accéléré	Élargissement de l'UE retardé
Train à grande vitesse (connexions nouvelles et améliorées)	20 connexions Implémentation plus rapide	20 connexions	20 connexions Implémentation plus tardive
Conditions économiques			
Croissance du PIB	Forte ↗	Modérée →	Faible ↘↘
Élargissement de l'UE	+5 États, tardif	+5 États, plus tôt	+5 États, très tard
Libre échange	Mondial, plus rapide	Limité, tardif	Aucun
Prix du voyage			
Coût d'exploitation	En forte baisse ↘↘	En baisse ↘	Constant →
Prix du CO ₂ dans le système d'échange de quotas d'émission	Modéré	Très faible	Très élevé
Prix du pétrole/baril	Faible	Très faible	Elevé
Variation des autres charges	Bruit : ↗ Sûreté : ↘	Bruit : ↗ Sûreté : →	Bruit : → Sûreté : ↗
Structure	Hubs : Moyen-Orient ↗↗	Hubs : Moyen-Orient ↗↗	
Réseau	Europe ↘ Turquie ↗	Europe et Turquie ↗	Constant →
Structure du marché	Point à point : N-Atlantique. ↗↗	Point à point : N-Atlantique. ↗	
	Hypothèses de prévision de flotte de l'industrie + STATFOR	Hypothèses de prévision de flotte de l'industrie + STATFOR	Hypothèses de prévision de flotte de l'industrie + STATFOR

Tableau 1 : composantes des scénarios EUROCONTROL.

Impact de la COVID-19 et extension à 2050

Depuis le début de l'année 2020, la COVID-19 est passée d'une épidémie localisée en Chine à la plus grave pandémie mondiale depuis un siècle. Aucun secteur de l'aviation européenne n'a été épargnée par la tragédie humaine ou la crise commerciale. Cette crise sans précédent a entravé la croissance du trafic aérien en 2020 : les mouvements de vols ont diminué de 55 % par rapport à 2019 au niveau de la CEAC. Elle a continué de perturber la croissance et les modèles de trafic en Europe en 2021.

À l'automne 2020, EUROCONTROL a publié une prévision à moyen terme⁶ 2020-2024, tenant compte de l'impact de l'épidémie de COVID-19. Cette dernière est basée sur trois scénarios différents en fonction de la rapidité avec laquelle un vaccin efficace serait mis à la disposition des voyageurs (aériens). D'autres facteurs ont été inclus, parmi lesquels l'impact économique de la crise ou les niveaux de confiance du public, pour n'en citer que quelques-uns. Dans le scénario 2, où le vaccin serait largement disponible pour les voyageurs à l'été 2022, considéré comme le plus probable, les vols de la CEAC n'atteindraient en 2024 que 92 % de leur niveau de 2019.

Afin de prendre en compte l'impact de la COVID-19 à l'horizon 2050, les adaptations suivantes ont été apportées aux prévisions initiales à long terme⁴ :

- a) remplacement de l'horizon de prévision à long terme⁴ par les prévisions à moyen terme les plus récentes⁶ pour tenir compte de l'impact de la COVID-19 ;
- b) mise à jour du reste de l'horizon (2025-2040) en supposant que les taux de croissance originaux de la prévision à long terme⁴ resteront similaires à ceux calculés avant la COVID-19 ; et
- c) extrapolation pour les dernières années (2040-2050) en considérant les mêmes taux de croissance annuels moyens que ceux prévus pour la période 2035-2040, mais avec une décroissance de 0,9⁷.

La méthode utilisée repose sur le calcul de facteurs d'ajustement au niveau des paires de régions STATFOR⁸ et a été appliquée aux prévisions originales à long terme⁴. L'ajustement de la référence permet d'affiner le scénario de base en tant que prévision de la consommation future de carburant aux horizons 2030, 2040 et 2050, en l'absence d'action.

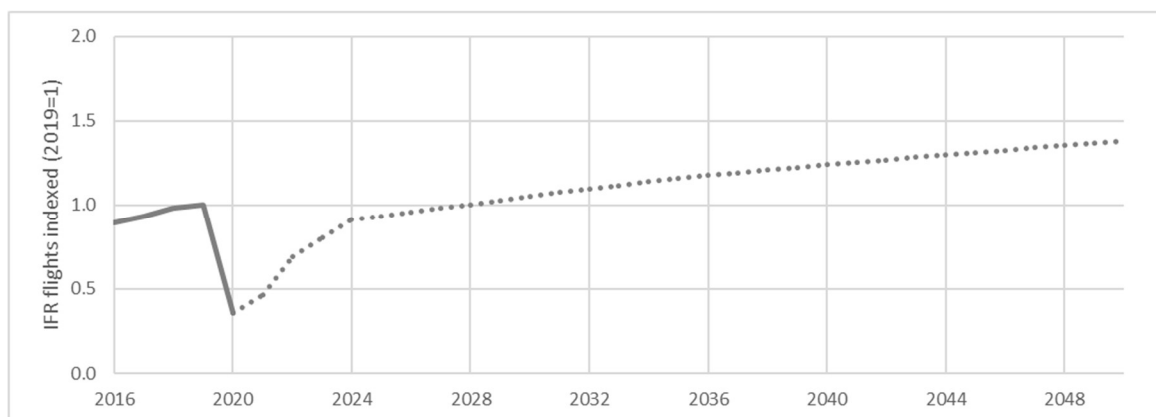
La figure 1 ci-dessous montre le scénario CEAC des prévisions de départs internationaux de vols de passagers pour les années historiques (ligne pleine) et futures (ligne pointillée).

⁶ Prévisions quinquennales 2020-2024, Mouvements IFR, EUROCONTROL, novembre 2020.

⁷ Comme le nombre de vols n'a pas été directement prévu par le système mais extrapolé numériquement, il n'inclut pas de renouvellement de flotte, ni de changement de réseau (paires d'aéroports) entre 2040 et 2050. Ce facteur vise à ajuster l'extrapolation pour rendre compte de la maturité progressive du marché.

⁸ STATFOR (*Statistics and Forecast Service*) fournit des statistiques et des prévisions sur le trafic aérien en Europe et permet de suivre et d'analyser l'évolution du secteur du transport aérien.

Figure 1 : scénario EUROCONTROL "Régulation et croissance" actualisé des prévisions de vols passagers pour les départs internationaux de la CEAC, intégrant l'impact de la COVID-19 en 2020 et les 4 années suivantes.



Hypothèses et résultats supplémentaires pour le scénario de base

Le scénario de base de la CEAC a été généré par EUROCONTROL pour tous les Etats de la CEAC. Il couvre tous les vols commerciaux internationaux de passagers au départ⁹ des aéroports de la CEAC, comme prévu dans le scénario de trafic susmentionné. Le nombre de passagers par vol est calculé à partir des données d'Eurostat.

EUROCONTROL génère également un certain nombre de vols tout-cargo dans son scénario de base. Toutefois, aucune information sur les tonnes de fret transportées n'est disponible. Par conséquent, les données historiques et prévisionnelles sur le trafic de fret ont été extraites d'une autre source (OACI¹⁰). Ces données, qui sont présentées ci-dessous, comprennent à la fois le fret transporté sur les vols de passagers et celui transporté sur les vols tout-cargo.

Les calculs historiques de la consommation de carburant et des émissions sont basés sur les plans de vol réels de la base de données PRISME¹¹ utilisée par EUROCONTROL, notamment la distance de vol réelle et l'altitude de croisière par paire d'aéroports. Ces calculs ont été effectués pour environ 99 % des vols passagers (pour les autres vols, certaines informations étaient manquantes dans les plans de vol). La détermination de la consommation de carburant et des émissions de CO₂ pour les années historiques est construite comme l'agrégation de la consommation de carburant et des émissions pour chaque aéronef de l'échantillon de trafic associé. Les résultats de la consommation de carburant et des émissions de CO₂ tiennent compte de la consommation de carburant de chaque aéronef dans ses phases de vol et au sol et sont obtenus en utilisant le modèle environnemental [IMPACT](#) d'EUROCONTROL, avec le niveau technologique de l'aéronef correspondant à chaque année.

⁹ Départs internationaux uniquement. Les vols intérieurs sont exclus. Est considéré comme domestique tout vol entre deux aéroports d'un État, quel que soit l'opérateur ou les espaces aériens qu'il emprunte en cours de route. Les aéroports situés outre-mer sont rattachés à l'État ayant la souveraineté du territoire. Par exemple, les vols intérieurs français comprennent les vols vers la Guadeloupe, la Martinique, etc.

¹⁰ Prévisions de trafic à long terme de l'OACI, passagers et fret, juillet 2016. Les prévisions relatives au fret n'ont pas été mises à jour, car les nouvelles prévisions de l'OACI, y compris les effets du COVID-19, seront disponibles après la fin du mois de juin 2021 ; elles ne peuvent donc pas être prises en compte dans la section commune du présent plan d'action.

¹¹ PRISME est le nom de la base de données d'EUROCONTROL qui héberge les données relatives aux plans de vol, aux flottes et aux cellules.

Les calculs de consommation de carburant et de modélisation pour les années de prévision (jusqu'en 2050) utilisent autant que possible les caractéristiques des plans de vol 2019, afin de reproduire les distances parcourues et les niveaux de croisière réels, par paires d'aéroports et par types d'aéronefs. Lorsque cela n'est pas possible, cette approche de modélisation utilise également les trafics des années précédentes et, si nécessaire, la modélisation des prévisions du CAEP de l'OACI. Les prévisions de consommation de carburant et d'émissions de CO₂ du scénario de base pour les années de prévision utilisent le niveau technologique de 2019.

Pour chaque année, le volume de transport passagers ou « passager-kilomètres payants » (*Revenue Passenger-Kilometres - RPK*) est calculé en multipliant le nombre de passagers transportés pour chaque paire d'aéroports par la distance orthodromique entre les aéroports associés exprimée en kilomètres. En raison de la diversité des données passagers (vols réguliers, à bas prix, non-réguliers, informations disponibles sur les passagers, etc.), ces résultats sont déterminés pour environ 99 % du trafic historique de passagers et 97 % du trafic prévisionnel. À partir des valeurs RPK, les RTK (*Revenue Tonnes-Kilometres*) des vols passagers ont été calculés comme le nombre de tonnes transportées par kilomètre, en supposant qu'un passager correspond à 0,1 tonne.

L'efficacité énergétique représente la quantité de carburant consommée divisée par le RPK pour chaque paire d'aéroports avec des données passagers, pour le trafic passagers uniquement. Ici, les résultats du RPK et du rendement énergétique correspondent à l'agrégation de ces valeurs pour l'ensemble des années de trafic concernées.

Les tableaux et figures suivants présentent les résultats de ce scénario de base, qui est destiné à servir de référence en donnant une approximation de la consommation de carburant et des émissions de CO₂ de l'aviation européenne en l'absence de mesures d'atténuation.

Tableau 2 : prévisions de base pour le trafic international au départ des aéroports de la CEAC.

Année	Trafic passagers (vols IFR) (million)	Passagers-kilomètres payants ¹² RPK (milliard)	Trafic tout-cargo (vols IFR) (million)	Tonnes de fret-kilomètres transportées ¹³ FTKT (milliard)	Tonnes-kilomètres payantes totales ¹⁴ RTK (milliard)
2010	4.56	1.114	0.198	45.4	156.8
2019	5.95	1.856	0.203	49.0	234.6
2030	5.98	1.993	0.348	63.8	263.1
2040	7.22	2.446	0.450	79.4	324.0
2050	8.07	2.745	0.572	101.6	376.1

¹² Calculé sur la base de la distance orthodromique (*Great Circle Distance / GCD*) entre les aéroports, pour 97 % du trafic passagers pour les années de prévision.

¹³ Comprend le transport de marchandises sur les vols tout-cargo et les vols de passagers.

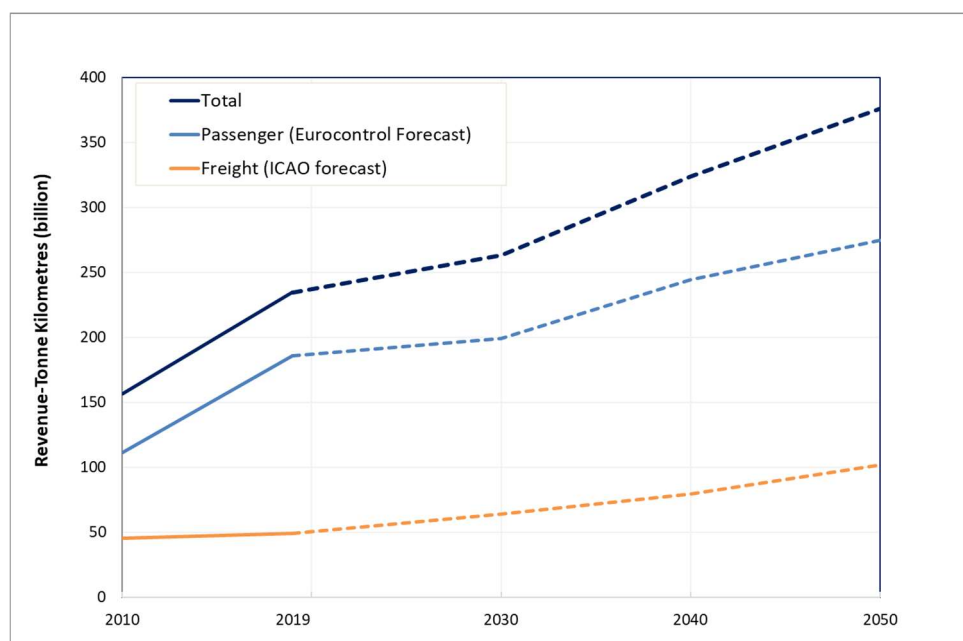
¹⁴ Une valeur de 100 kg a été utilisée comme masse moyenne d'un passager, bagages compris (réf. : OACI).

Tableau 3 : prévisions de la consommation de carburant et des émissions de CO₂ pour le scénario de base.

Année	Consommation de carburant (10 ⁹ kg)	Émissions de CO ₂ (10 ⁹ kg)	Rendement énergétique (kg/RPK)	Rendement énergétique (kg/RTK)
2010	36.95	116.78	0.0332	0.332
2019	52.01	164.35	0.0280	0.280
2030	50.72	160.29	0.0252	0.252
2040	62.38	197.13	0.0252	0.252
2050	69.42	219.35	0.0250	0.250

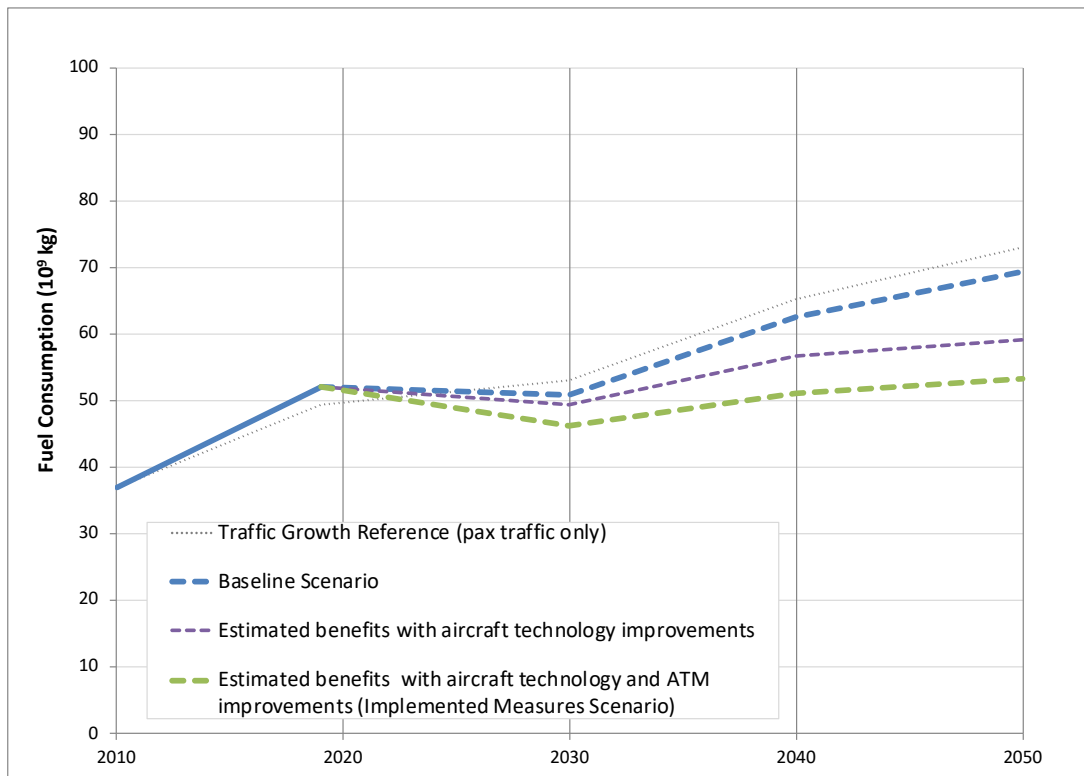
Pour des raisons de disponibilité des données, les résultats présentés dans ce tableau n'incluent pas le transport de fret.

Figure 2 : prévisions de trafic à l'horizon 2050 (pour le scénario de base et pour le scénario avec mise en œuvre des mesures d'atténuation).



L'impact de la COVID-19 en 2020 n'est pas entièrement reflété dans la figure 2, car cette représentation est simplifiée à l'extrême par une ligne droite entre 2019 et 2030. La même remarque s'applique à la figure 3 et à la figure 4.

Figure 3 : prévisions de consommation de carburant pour les scénarios de base et avec mise en œuvre des mesures d'atténuation (vols internationaux de passagers au départ des aéroports de la CEAC).



2. Scénario de la CEAC avec mesures d'atténuation mises en œuvre : avantages estimés

Afin d'améliorer le rendement énergétique et de réduire les émissions futures du trafic aérien au-delà des projections du scénario de base, les Etats de la CEAC ont pris des mesures supplémentaires. Les hypothèses pour une évaluation descendante (« *top-down* ») des effets des mesures d'atténuation sont présentées ici, sur la base des résultats de modélisation d'EUROCONTROL et de l'AESA. Les mesures visant à réduire la consommation de carburant et les émissions de l'aviation seront décrites dans les chapitres suivants.

Pour des raisons de simplicité, le scénario avec mesures d'atténuation mises en œuvre est basé sur les mêmes volumes de trafic que le scénario de référence, c'est-à-dire le scénario « Régulation et croissance » actualisé d'EUROCONTROL décrit précédemment. A la différence du scénario de base, les effets du développement technologique lié aux aéronefs et les améliorations de la gestion du trafic aérien/des opérations sont ici pris en compte pour une projection de la consommation de carburant et des émissions de CO₂ jusqu'à l'année 2050.

Les effets de l'**amélioration technologique des aéronefs** sont pris en compte en simulant le renouvellement de la flotte et en tenant compte des améliorations du rendement énergétique des nouveaux types d'aéronefs de la dernière génération (par exemple, Airbus A320NEO, Boeing 737MAX, Airbus A350XWB, etc.). La future flotte

d'aéronefs a été simulée à l'aide de l'outil *Aircraft Assignment Tool*¹⁵ (AAT), développé en collaboration par EUROCONTROL, l'AESA et la Commission européenne. Le processus de retrait des aéronefs de l'outil AAT est effectué année après année, ce qui permet de déterminer le nombre de nouveaux aéronefs requis chaque année. En plus du renouvellement de la flotte, une amélioration annuelle constante de l'efficacité énergétique de 1,16 % par an est supposée pour chaque type d'avion entrant en service à partir de 2020. Ce taux d'amélioration correspond au scénario de technologie de carburant "avancée" utilisé par le CAEP pour générer les tendances en matière de carburant pour l'Assemblée. Cette modélisation de l'amélioration technologique est appliquée aux années 2030 et 2040. Pour l'année 2050, comme le trafic prévu réutilise exactement la flotte de l'année 2040, l'amélioration technologique est déterminée par l'extrapolation du ratio de consommation de carburant entre le scénario de base et les résultats du scénario d'amélioration technologique des années 2030 à 2040.

Les effets de l'**amélioration de l'efficacité de l'ATM** sont pris en compte dans le scénario avec mesures d'atténuation mises en œuvre sur la base des analyses d'efficacité du projet SESAR. Dans SESAR, une valeur de 5 280 kg de carburant par vol pour la CEAC (y compris la région océanique) est utilisée comme base de référence¹⁶. Sur la base des informations fournies par le document PAGAR 2019¹⁷, et par rapport à une base de référence de 2012, les bénéfices à la fin de la première phase pourraient être d'environ de 3 % de CO₂/carburant économisés d'ici 2025, ce qui équivaut à 147,4 kg de carburant par vol. Jusqu'à présent, l'objectif de la deuxième phase reste d'environ 7 % d'économies supplémentaires de CO₂/carburant (352,6 kg de carburant) pour atteindre l'objectif initial d'Ambition d'environ 10 % d'économies de CO₂/carburant (500 kg de carburant) par vol d'ici 2035. L'amélioration de l'efficacité en 2030 est calculée en supposant une évolution linéaire entre 2025 et 2035. Étant donné qu'au-delà de 2035, il n'y a pas encore d'Ambition SESAR, on suppose que les améliorations de l'efficacité de l'ATM sont rapportées de manière extensive pour les années 2040 et 2050.

Les avantages non encore estimés des projets de recherche exploratoire¹⁸ devraient augmenter les économies globales de carburant futures.

Bien que les effets de l'**introduction de carburants d'aviation durables (SAF)** aient été modélisés dans les mises à jour précédentes sur la base des objectifs européens ACARE¹⁹, les objectifs d'approvisionnement en SAF prévus pour 2020 n'ont pas été atteints, et dans la mise à jour actuelle, les avantages des SAF n'ont pas été modélisés en tant que mesure commune européenne dans le scénario avec mesures d'atténuation mises en œuvre. Cependant, de nombreuses initiatives liées aux SAF (par exemple, ReFuelEU Aviation) sont largement décrites dans la section B chapitre 2, et il est prévu que les futures mises à jour incluent une évaluation de ses avantages en tant que mesure collective.

Les effets sur les émissions de CO₂ de l'aviation des **mesures fondées sur le marché**, y compris le système d'échange de quotas d'émission de l'UE (SEQE-UE) avec le SEQE suisse qui y est lié, le SEQE britannique et le système de compensation et de réduction des émissions de carbone pour l'aviation internationale (CORSIA) de l'OACI, n'ont pas été modélisés dans l'évaluation descendante du scénario avec mise en œuvre des mesures d'atténuation présenté ici car, au moment de la soumission du présent plan d'action, une proposition législative de révision de la directive SEQE-UE concernant l'aviation est en cours d'élaboration pour achever la mise en œuvre de CORSIA par l'UE et renforcer le niveau d'ambition du SEQE-UE. CORSIA n'est pas considéré comme une mesure

¹⁵ <https://www.easa.europa.eu/domains/environment/impact-assessment-tools>

¹⁶ Voir le plan directeur ATM de SESAR - édition 2020 (<https://www.atmmasterplan.eu/>) - eATM.

¹⁷ Voir le rapport d'analyse des lacunes dans l'évaluation des performances de SESAR (PAGAR), version actualisée de 2019 v00.01.04, 31-03-2021.

¹⁸ Voir les projets de recherche exploratoire SESAR - <https://www.sesarju.eu/exploratoryresearch>

¹⁹ <https://www.acare4europe.org/acare-goals/>

européenne mais comme une mesure mondiale. Elle vise une croissance neutre en carbone de l'aviation par rapport à la moyenne des niveaux d'émissions de 2019 et 2020 dans les États participants (CNG 2020) ; la figure 4 donne une indication de l'objectif (hypothétique) correspondant appliqué à l'Europe, tout en rappelant qu'il ne s'agit que d'un niveau de référence, étant donné que CORSIA a été conçu pour contribuer à la CNG 2020 au niveau mondial et non dans des États ou régions individuels²⁰.

Les tableaux 4 à 6 et la figure 4 résument les résultats pour le scénario avec mesures d'atténuation mises en œuvre. Il convient de noter que le tableau 4 indique les émissions de CO₂ dues à la combustion directe (en supposant 3,16 kg de CO₂ par kg de combustible). Des tableaux de résultats plus détaillés figurent à l'annexe A, y compris les résultats exprimés en émissions équivalentes de CO₂ sur le cycle de vie (à des fins de comparaison des avantages des SAF).

Tableau 4 : prévisions de la consommation de carburant et des émissions de CO₂ pour le scénario avec mesures d'atténuation mises en œuvre (nouvelles technologies aéronaves et améliorations de la gestion du trafic aérien uniquement).

Année	Consommation de carburant (10 ⁹ kg)	Émissions de CO ₂ (10 ⁹ kg)	Rendement énergétique (kg/RPK)	Rendement énergétique (kg/RTK)
2010	36.95	116.78	0.0332	0.332
2019	52.01	164.35	0.0280	0.280
2030	46.16	145.86	0.0229	0.229
2040	51.06	161.35	0.0206	0.206
2050	53.18	168.05	0.0192	0.192
2050 vs 2019			-32%	
<i>Pour des raisons de disponibilité des données, les résultats présentés dans ce tableau n'incluent pas le trafic de fret.</i>				

Tableau 5 : amélioration annuelle moyenne du rendement énergétique pour le scénario avec mesures d'atténuation mises en œuvre (nouvelles technologies aéronaves et améliorations de la gestion du trafic aérien uniquement).

Période	Amélioration annuelle moyenne du rendement énergétique (%)
2010-2019	-1.86%
2019-2030	-1.82%
2030-2040	-1.03%
2040-2050	-0.74%

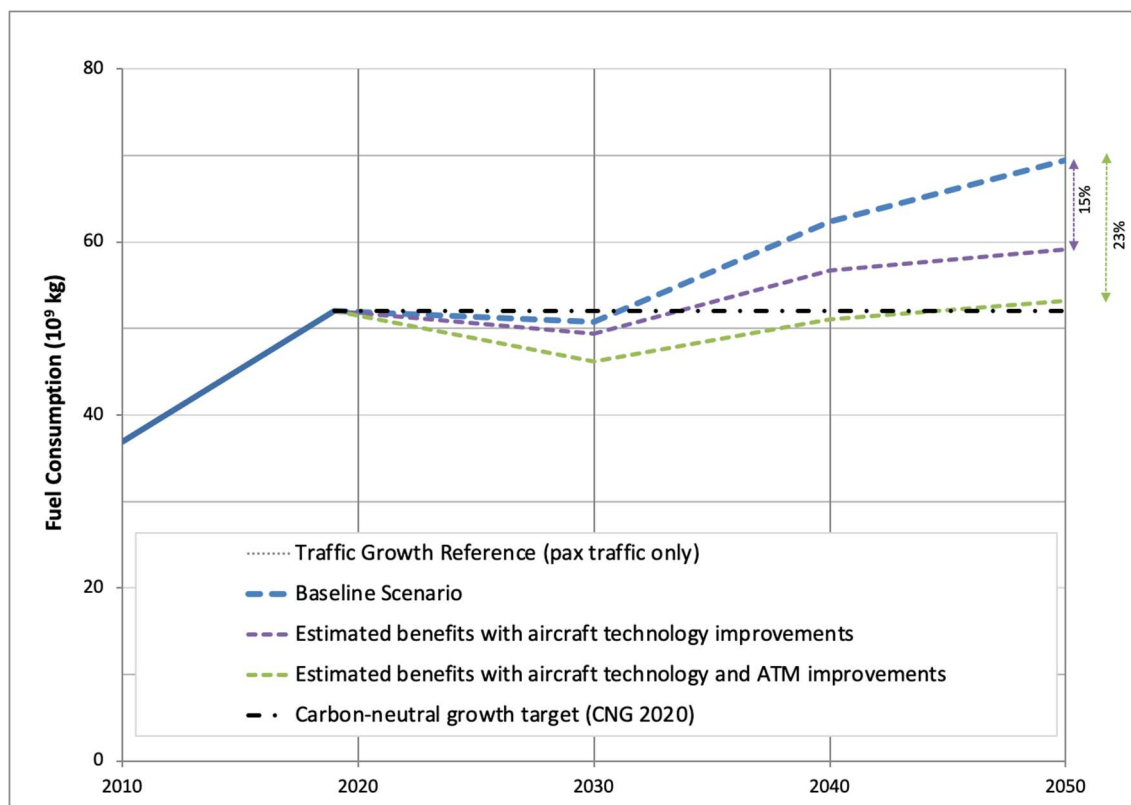
²⁰ Il convient de noter que, au sens strict, l'objectif CORSIA de la GNC 2020 est destiné à être atteint au niveau mondial (et donc pas nécessairement dans chaque région du monde).

Tableau 6 : prévisions des émissions de CO₂ pour les scénarios décrits dans ce chapitre.

Année	Émissions de CO ₂ (10 ⁹ kg)			Amélioration en % avec les mesures d'atténuation mises en œuvre (champ d'application complet)
	Scénario de base	Scénario avec mesures d'atténuation mises en œuvre		
		Améliorations technologiques des aéronefs uniquement	Amélioration technologique des aéronefs et de la gestion du trafic aérien	
2010	116.78			NA
2019	164.35			NA
2030	160.3	156.0	145.9	-9%
2040	197.1	179.3	161.4	-18%
2050	219.4	186.7	168.0	-23%

*Pour des raisons de disponibilité des données, les résultats présentés dans ce tableau n'incluent pas le trafic de fret.
Il convient de noter que la consommation de carburant est supposée ne pas être affectée par l'utilisation de carburants d'aviation durables.*

Figure 4 : prévisions de consommation de carburant pour les scénarios de base et avec mesures d'atténuation mises en œuvre.



Comme le montre la figure 4, l'impact de l'amélioration de la technologie des aéronefs indique une réduction globale de 15 % de la consommation de carburant et des émissions de CO₂ en 2050 par rapport au scénario de référence. Les émissions globales de CO₂, y compris les effets des nouveaux types d'aéronefs et des mesures liées à la gestion du trafic aérien, devraient s'améliorer pour aboutir à une réduction de 23 % en 2050 par rapport au scénario de référence.

D'après le tableau 5, dans le cadre des scénarios actuels d'amélioration de la technologie des aéronefs et de la gestion du trafic aérien, l'amélioration du rendement énergétique devrait être de 32 % entre 2019 et 2050. En effet, le taux annuel d'amélioration du rendement énergétique devrait progressivement ralentir, passant d'un taux de 1,82 % entre 2019 et 2030 à un taux de 0,74 % entre 2040 et 2050. Les améliorations de la technologie des aéronefs et de la gestion du trafic aérien ne suffiront pas à elles seules à atteindre l'objectif de croissance neutre en carbone de l'OACI après 2020. Cela confirme que des actions supplémentaires, en particulier des mesures fondées sur le marché et les SAF, sont nécessaires pour combler cette lacune. Parmi les États de la CEAC, il existe des stratégies climatiques ambitieuses dont l'objectif global est la neutralité carbone d'ici 2050. Le secteur de l'aviation devra contribuer à cet objectif.

B. ACTIONS COLLECTIVES MENEES EN EUROPE



1. TECHNOLOGIE ET NORMES

1.1 Normes d'émissions des aéronefs

Les États membres européens soutiennent pleinement les travaux du Comité de la protection de l'environnement en aviation (CAEP) de l'OACI sur l'élaboration et la mise à jour des normes relatives aux émissions des aéronefs, en particulier la norme OACI sur le CO₂ des aéronefs adoptée par l'OACI en 2017. L'Europe a contribué de manière significative à son élaboration, notamment par le biais de l'Agence européenne de la sécurité aérienne (AESA). Elle est pleinement attachée à la mise en œuvre de cette norme en Europe et à la nécessité de la revoir régulièrement à la lumière des évolutions en matière d'efficacité énergétique des avions. L'AESA a soutenu le processus d'intégration de la norme CO₂ dans la législation européenne (2018/1139) avec une date d'applicabilité au 1^{er} janvier 2020 pour les nouveaux types d'avions.

ÉVALUATION

Il s'agit d'une contribution européenne à une mesure mondiale (norme CO₂). Les éléments d'évaluation de cette contribution aux objectifs mondiaux ambitieux sont disponibles auprès du CAEP.

1.2 Recherche et développement

1.2.1 Clean Sky

Clean Sky²¹ est une entreprise commune de l'UE qui vise à développer et à faire mûrir des "technologies propres" révolutionnaires pour le transport aérien dans le monde entier. Les entreprises communes sont des partenariats public-privé mis en place par l'Union européenne dans le cadre des programmes de recherche de l'UE. En accélérant le déploiement de ces technologies, l'entreprise commune contribuera aux priorités stratégiques environnementales et sociales de l'Europe et favorisera simultanément la compétitivité et la croissance durable de l'économie. La première entreprise commune Clean Sky (**Clean Sky 1** - 2011-2017) disposait d'un budget de 1,6 milliard d'euros, partagé à parts égales entre la Commission européenne et l'industrie aéronautique. Elle visait à développer des technologies respectueuses de l'environnement ayant un impact sur tous les segments de vol de l'aviation commerciale. Les objectifs étaient de réduire les émissions de CO₂ des avions de 20 à 40 %, de NO_x d'environ 60 % et le bruit jusqu'à 10dB par rapport aux avions de l'an 2000.

Elle a été suivie d'une deuxième entreprise commune (**Clean Sky 2** - 2014-2024) dont l'objectif est de réduire les émissions et le bruit des avions de 20 à 30 % par rapport aux dernières technologies entrées en service en 2014. Le budget actuel du programme est d'environ 4 milliards d'euros.

Les deux évaluations intermédiaires de Clean Sky en 2011 et 2013 ont reconnu que le programme réussit à stimuler les développements vers les objectifs environnementaux. Ces évaluations préliminaires confirment la capacité d'atteindre les objectifs globaux à la fin du programme.

Les principaux domaines restants pour les efforts de recherche et de développement technologique (RDT) dans le cadre de Clean Sky 2 sont les suivants :

- **avions de transport de passagers de grande capacité** : démonstration des meilleures technologies pour atteindre les objectifs environnementaux tout en répondant aux besoins futurs du marché et en améliorant la compétitivité des futurs produits ;
- **avions de transport régional** : démontrer et valider des technologies clés qui permettront à un avion turbopropulsé de 90 places d'offrir des performances économiques et environnementales exceptionnelles et une expérience passager supérieure ;
- **giravions rapides** : démonstration de nouveaux concepts de giravions (hélicoptères à rotors basculants et hélicoptères mixtes) afin d'offrir une polyvalence et des performances supérieures à ces aéronefs ;
- **cellule** : démontrer les avantages des structures avancées et innovantes de la cellule (comme une aile plus efficace avec un flux laminaire naturel, des surfaces de contrôle optimisées, des systèmes de contrôle et des systèmes embarqués, hautement intégrés dans des structures métalliques et composites avancées). De plus, de nouvelles stratégies d'intégration des moteurs, et des structures de fuselage innovantes seront étudiées et testées ;
- **moteurs** : validation d'architectures de moteurs avancées et plus radicales ;
- **systèmes** : démontrer les avantages de l'application de nouvelles technologies dans des domaines clés tels que la gestion de l'énergie, le cockpit, les ailes, le train d'atterrissage, pour répondre aux besoins d'une future génération d'avions en termes de maturation, de démonstration et d'innovation ;

²¹ <http://www.cleansky.eu/>

- **transport par petits avions** : démontrer les avantages de l'application de technologies clés sur des démonstrateurs de petits avions afin de revitaliser un segment important du secteur aéronautique qui peut apporter de nouvelles solutions clés en matière de mobilité ;
- **éco-conception** : coordonner la recherche visant à assurer un haut niveau d'éco compatibilité des aéronefs tout au long de leur durée de vie et renforcer la gestion responsable des ressources grâce à la réutilisation, au recyclage et aux services avancés.

En outre, l'**évaluateur de technologies de Clean Sky**²² continuera d'être mis à niveau afin d'évaluer régulièrement les progrès technologiques et d'évaluer le potentiel de performance des technologies de Clean Sky 2, tant au niveau des véhicules qu'au niveau global (aéroports et systèmes de trafic aérien).

1.2.2 Innovations technologiques disruptives dans le domaine de l'aviation : « Partenariat européen pour une aviation propre »

Le programme Horizon 2020 arrivant à son terme en 2020, la Commission a adopté une proposition visant à créer une nouvelle entreprise commune dans le cadre du programme Horizon Europe (2021-2027). Le **Partenariat européen pour une aviation propre (EPCA)**²³ suivra les traces de CleanSky2. La contribution de l'UE proposée est à nouveau de 1,7 milliard d'euros. La communauté des parties prenantes a déjà proposé un programme stratégique de recherche et d'innovation (SRIA), qui doit servir de base au futur partenariat. Sous réserve des dispositions finales du partenariat et de la dotation budgétaire de l'UE, les partenaires de l'industrie ont proposé une contribution de 3 milliards d'euros de la part du secteur privé.

Objectifs généraux de l'EPCA :

(a) Contribuer à réduire l'empreinte écologique de l'aviation en accélérant le développement de technologies aéronautiques neutres sur le plan climatique en vue d'un déploiement le plus rapide possible, contribuant ainsi de manière significative à la réalisation des objectifs généraux du "Pacte vert" européen, notamment en ce qui concerne l'objectif de réduction des émissions nettes de gaz à effet de serre à l'échelle de l'Union européenne d'au moins 55 % d'ici à 2030 par rapport aux niveaux de 1990, et la voie à suivre pour atteindre la neutralité climatique d'ici à 2050.

(b) Veiller à ce que les activités de recherche et d'innovation liées à l'aéronautique contribuent à la compétitivité durable de l'industrie aéronautique de l'Union au niveau mondial, et à ce que les technologies aéronautiques neutres sur le plan climatique répondent aux exigences pertinentes en matière de sécurité aérienne, et restent un moyen sûr, fiable, rentable et efficace de transport de passagers et de marchandises.

Objectifs spécifiques :

(a) Intégrer et faire la démonstration d'innovations technologiques disruptives dans le domaine de l'aviation, capables de réduire les émissions nettes de gaz à effet de serre d'au moins 30 % d'ici à 2030, par rapport à la technologie de pointe de 2020, tout en préparant le terrain pour une aviation neutre sur le plan climatique d'ici à 2050.

(b) Faire en sorte que l'état de préparation technologique et industriel des innovations puisse soutenir le lancement de nouveaux produits et services disruptifs d'ici 2035, dans le but de remplacer 75 % de la flotte en exploitation d'ici 2050 et de développer un système

²² <https://www.clean-aviation.eu/clean-sky-2/technology-evaluator/>

²³ <https://clean-aviation.eu/>

aéronautique européen innovant, fiable, sûr et rentable, capable de répondre à l'objectif de neutralité climatique d'ici 2050.

(c) Etendre et favoriser l'intégration des chaînes de valeur de la recherche et de l'innovation en matière d'aviation climatiquement neutre, y compris les universités, les organismes de recherche, l'industrie et les PME, en tirant également parti des synergies avec d'autres programmes nationaux et européens connexes.

ÉVALUATION

L'évaluation quantitative du scénario d'amélioration technologique de 2020 à 2050 a été calculée par EUROCONTROL et l'AESA et figure à la section A ci-dessus (scénario de base de la CEAC et avantages estimés des mesures d'atténuation mises en œuvre) et à l'Annexe A.

Tableau 7 : consommation de carburant et émissions de CO₂ du trafic international de passagers au départ des aéroports de la CEAC, avec prise en compte des améliorations technologiques des avions après 2019.

Année	Consommation de carburant (10 ⁹ kg)	Émissions de CO ₂ (10 ⁹ kg)	Émissions de CO ₂ sur le cycle de vie (10 ⁹ kg)	Efficacité énergétique (kg/RPK)	Efficacité énergétique (kg/RTK)
2010	36.95	116.78	143.38	0.0332	0.332
2019	52.01	164.35	201.80	0.0280	0.280
2030	49.37	156.00	191.54	0.0232	0.232
2040	56.74	179.28	220.13	0.0217	0.217
2050	59.09	186.72	229.26	0.0202	0.202

Pour des raisons de disponibilité des données, les résultats présentés dans ce tableau n'incluent pas le trafic de fret.

Tableau 8 : amélioration annuelle moyenne du rendement énergétique pour le scénario avec mesures d'atténuation mises en œuvre (nouvelle technologie des aéronefs uniquement).

Période	Amélioration annuelle moyenne du rendement énergétique (%)
2010-2019	-1.86%
2019-2030	-1.22%
2030-2040	-0.65%
2040-2050	-0.74%



2. CARBURANTS D'AVIATION DURABLES

Les carburants durables pour l'aviation (SAF), y compris les biocarburants avancés et les carburants synthétiques, ont le potentiel de réduire considérablement les émissions des aéronefs et les États de la CEAC sont favorables à leur introduction à grande échelle, conformément à la vision 2050 de l'OACI.

Les mesures collectives européennes relatives aux SAF incluses dans ce plan d'action se concentrent sur les avantages de la réduction des émissions de CO₂. Néanmoins, les SAF présente l'avantage supplémentaire de réduire les émissions de polluants atmosphériques de particules non volatiles (nvPM) jusqu'à 90 % et de soufre (SO_x) jusqu'à 100 %, par rapport aux carburéacteurs fossiles²⁴. Par conséquent, l'utilisation à grande échelle des SAF peut avoir d'autres avantages importants sur le climat, autres que le CO₂, qui ne sont pas spécifiquement évalués dans le cadre de ce plan.

2.1 Initiative ReFuelEU pour l'aviation

Le 15 janvier 2020, le Parlement européen a adopté une résolution sur le « Green Deal » européen dans laquelle il salue la stratégie pour une mobilité durable et intelligente et convient avec la Commission européenne que tous les modes de transport devront contribuer à la décarbonation du secteur des transports, conformément à l'objectif d'atteindre une économie neutre sur le plan climatique. Le Parlement européen a également lancé un appel pour « *une feuille de route réglementaire claire pour la décarbonation de l'aviation, basée sur des solutions technologiques, des infrastructures, des exigences en matière de carburants alternatifs durables et des opérations efficaces, en combinaison avec des incitations à un transfert modal* ».

Le programme de travail de la Commission pour 2020 prévoit, au titre de l'objectif politique « Mobilité durable et intelligente », une initiative législative intitulée « *ReFuelEU Aviation - Sustainable Aviation Fuels* ».

²⁴ [Rapport environnemental 2016 de l'OACI](#), chapitre 4, page 162, figure 4.

Cette initiative vise à stimuler l'offre et la demande de carburants aéronautiques durables dans l'UE, non seulement les biocarburants avancés mais aussi les carburants synthétiques. Cela permettra de réduire l'empreinte environnementale de l'aviation et de contribuer à la réalisation des objectifs climatiques de l'UE.

Le marché intérieur de l'aviation de l'UE est un élément clé de la connectivité et de la croissance, mais il a également un impact environnemental important. Conformément aux objectifs climatiques de l'UE visant à réduire les émissions de 55 % d'ici 2030 et à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050, le secteur de l'aviation doit se décarboner.

Alors que plusieurs mesures politiques sont en place, un potentiel important de réduction des émissions pourrait provenir de l'utilisation des SAF, c'est-à-dire des carburants liquides remplaçant le kérosène fossile. Toutefois, à l'heure actuelle, seulement 0,05 % environ du total des carburants aviation utilisés dans l'UE sont durables.

L'initiative ReFuelEU Aviation vise à maintenir un secteur du transport aérien compétitif tout en augmentant la part des SAF utilisée par les compagnies aériennes. Dans cette optique, la Commission européenne a proposé en 2021 un projet de règlement imposant l'augmentation de la part des SAF à mélanger avec le carburant conventionnel. Cela pourrait se traduire par d'importantes économies d'émissions pour le secteur, étant donné que certains de ces carburants (par exemple les carburants synthétiques) ont le potentiel d'économiser jusqu'à 85 % ou plus d'émissions par rapport aux carburants fossiles, sur l'ensemble de leur cycle de vie.

ÉVALUATION

Un déploiement significatif des SAF sur le marché de l'aviation entraînera une diminution nette des émissions de CO₂ du secteur du transport aérien. Les SAF peuvent permettre de réaliser des économies d'émissions de 85 % ou plus par rapport au kérosène classique et, par conséquent, s'ils sont déployés à grande échelle, ils ont un potentiel important pour aider l'aviation à contribuer à la réalisation des objectifs climatiques de l'UE.

L'évaluation des avantages apportés par cette mesure européenne collective en termes de réduction des émissions de l'aviation devrait être incluse dans une future mise à jour de la section commune de ce plan d'action.

2.2 S'attaquer aux obstacles à la pénétration des SAF sur le marché

Les SAF sont considérés comme un élément essentiel du panier de mesures visant à atténuer à court terme la contribution de l'aviation au changement climatique compte tenu de la flotte mondiale actuelle.

Cependant, l'utilisation des SAF est restée négligeable jusqu'à présent, malgré des initiatives politiques antérieures telles que le *European Advanced Biofuels Flightpath*, car il existe encore des obstacles importants à leur déploiement à grande échelle.

Le [Rapport environnemental de l'aviation européenne \(EAER\)](#), publié en janvier 2019, a identifié un manque d'informations au niveau européen sur la fourniture et l'utilisation des SAF en Europe. L'AESA a réalisé deux études en 2019 pour remédier au manque de suivi des SAF dans l'UE.

2.2.1 Initiative de facilitation pour un carburant d'aviation durable

La première étude, qui traite des obstacles à la pénétration des SAF sur le marché, examine comment encourager la certification et l'utilisation des SAF comme carburants de substitution en Europe en introduisant une initiative de facilitation des SAF.

Les obstacles industriels et économiques importants qui subsistent limitent la pénétration des SAF dans le secteur de l'aviation. Afin de réduire les coûts et les risques auxquels les

opérateurs économiques sont confrontés pour introduire les SAF sur le marché de l'aviation, cette étude a examiné comment encourager la certification et l'utilisation des SAF comme carburants en Europe en introduisant une initiative de facilitation des SAF.

Le rapport commence par analyser le statut des SAF en Europe aujourd'hui, notamment les technologies les plus avancées et celles à un niveau de préparation technologique (TRL) inférieur. Il examine l'une des principales solutions à l'obstacle que constitue le processus de certification des SAF, à savoir la « *US Clearing House* » gérée par l'institut de recherche de l'université de Dayton et financé par l'administration fédérale de l'aviation (FAA). La question de la durabilité est également examinée, par le biais d'une analyse du rôle des systèmes de certification de la durabilité (SCS) et de leur interaction avec les exigences réglementaires en matière de durabilité, en particulier celles de la directive européenne sur les énergies renouvelables (RED II) et du système de compensation et de réduction du carbone pour l'aviation internationale (CORSA) de l'OACI.

Des entretiens avec un large éventail de parties prenantes ont permis d'identifier la meilleure forme que devrait prendre une initiative européenne de facilitation. Cette étude recommande qu'une telle initiative soit divisée en deux organes distincts, le premier agissant comme une « *Clearing House* » européenne, et le second comme un forum des parties prenantes.

Le rapport est disponible sur le site web de l'AESA : [Sustainable Aviation Fuel 'Facilitation Initiative](#).

2.2.2. Système de suivi du carburant d'aviation durable

En réponse à un manque d'informations au niveau de l'UE sur la fourniture et l'utilisation de SAF en Europe, identifié par le Rapport environnemental de l'aviation européenne, l'AESA a lancé une deuxième étude visant à identifier un flux de données rentable et solide pour suivre l'utilisation et la fourniture de SAF, ainsi que les réductions d'émissions associées. Il s'agissait notamment d'identifier et de recommander des indicateurs de performance liés à l'utilisation des SAF en Europe, ainsi que les réductions d'émissions de CO₂ réalisées par l'aviation.

L'étude a suivi cinq étapes :

1. Identification des indicateurs de performance possibles en examinant l'état actuel des indicateurs SAF et en consultant les principales parties prenantes.
2. Identification des exigences réglementaires en matière de rapports et d'autres sources possibles d'ensembles de données et de flux d'informations dans le contexte européen, susceptibles de couvrir les besoins en données des indicateurs de performance proposés.
3. Examen des exigences de durabilité applicables aux SAF et des économies potentielles en matière d'émissions de gaz à effet de serre (GES) par rapport aux combustibles fossiles.
4. Examen de l'utilisation des SAF aujourd'hui et des attentes futures pour l'utilisation des SAF en Europe.
5. Définition d'un futur processus de suivi et de rapport sur l'utilisation des SAF en Europe et recommandations connexes pour le mettre en œuvre.

Les résultats serviront de base à des travaux ultérieurs visant à inclure des indicateurs de performance des SAF dans les futurs rapports environnementaux de l'aviation européenne, ce qui permettra de mieux comprendre la pénétration du marché des SAF au fil du temps afin d'évaluer le succès des mesures politiques visant à encourager l'adoption de cette technologie.

Le rapport est disponible sur le site web de l'AESA : [Sustainable Aviation Fuel Monitoring System](#).

ÉVALUATION

Bien que ces études devraient contribuer à lever les obstacles à la pénétration des SAF sur le marché, leur inclusion dans ce document est à titre d'information et l'évaluation de leurs avantages en termes de réduction des émissions de l'aviation n'est pas prévue dans le présent plan d'action.

2.3 Normes et exigences en matière de SAF

2.3.1. Normes de l'Union européenne applicables à l'approvisionnement en SAF

Au sein de l'Union européenne, il existe actuellement des normes applicables à l'approvisionnement en énergie renouvelable dans le secteur des transports, qui sont incluses dans la directive révisée sur les énergies renouvelables (RED II) entrée en vigueur en décembre 2018 ([directive 2018/2001/UE](#)).

Elle vise à promouvoir l'utilisation de l'énergie provenant de sources renouvelables, en fixant des objectifs obligatoires à atteindre d'ici 2030 pour une part globale de 30 % d'énergies renouvelables dans l'UE et une part minimale de 14 % d'énergies renouvelables dans le secteur des transports, y compris pour l'aviation, mais sans objectifs obligatoires en matière d'approvisionnement en SAF.

Méthodologies en termes de durabilité et d'émissions du cycle de vie :

Les méthodologies pour les critères de durabilité et les émissions sur le cycle de vie qui ont été établies pour tous les carburants renouvelables destinés aux transports fournis dans l'UE, afin qu'ils soient pris en compte dans la réalisation des objectifs, sont pleinement applicables à la fourniture de SAF.

Celles-ci se trouvent dans l'article 17 de la directive RED²⁵. *Critères de durabilité pour les biocarburants et les bioliquides*. Ces exigences restent applicables dans la RED II révisée (directive (UE) 2018/2001), article 29 *Critères de durabilité et de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour les biocarburants, les bioliquides et les carburants issus de la biomasse*, paragraphes 2 à 7, bien que la RED II introduise quelques nouveaux critères spécifiques pour les matières premières forestières.

Les carburants renouvelables pour le transport (donc, y compris les SAF) produits dans des installations entrant en service à partir du 1^{er} janvier 2021 doivent permettre une réduction des émissions de GES de 65 % par rapport à une référence de carburants fossiles pour le transport de 94 g CO₂ eq/MJ. Dans le cas des carburants renouvelables pour le transport d'origine non biologique²⁶, le seuil est porté à 70 % de réduction des émissions de GES.

Pour aider les opérateurs économiques à déclarer les réductions d'émissions de GES de leurs produits, des valeurs par défaut et des valeurs types pour un certain nombre de filières spécifiques sont énumérées dans l'annexe V de la RED II (pour les biocarburants

²⁵ Directive 2009/28/CE.

²⁶ Dans le cas des carburants renouvelables d'origine non biologique, deux types sont considérés : a) Les carburants renouvelables liquides et gazeux pour le transport d'origine non biologique (y compris les catégories communément appelées Power-to-Liquid - PtL -, Electro-fuels et Synthetic fuels) ; b) Les gaz résiduels, qui entrent dans la catégorie des carburants recyclés d'origine non-biologique (également appelés REFUNIOBIO).

liquides). La Commission européenne peut réviser et mettre à jour les valeurs par défaut des émissions de GES lorsque les développements technologiques le rendent nécessaire.

Les opérateurs économiques ont la possibilité soit d'utiliser les valeurs d'intensité de GES par défaut fournies dans le cadre de la RED II (parties A et B de l'annexe V) afin d'estimer les réductions d'émissions de GES pour certaines ou toutes les étapes d'un processus spécifique de production de biocarburants, soit de calculer des "valeurs réelles" pour leur filière conformément à la méthodologie RED définie dans la partie C de l'annexe V.

Dans le cas des carburants non biosourcés, une méthodologie spécifique est en cours d'élaboration.

2.3.2. Normes de l'OACI applicables à l'approvisionnement en SAF

L'Europe contribue activement à l'élaboration des normes et pratiques recommandées (SARP) CORSIA de l'OACI, par l'intermédiaire du Comité de protection de l'environnement en aviation (CAEP) de l'OACI, en établissant des exigences globales de durabilité applicables aux SAF ainsi qu'à la méthodologie CORSIA de calcul des valeurs d'émissions réelles sur le cycle de vie et au calcul des valeurs d'émissions par défaut sur le cycle de vie pour les carburants éligibles au titre de CORSIA ; les normes CORSIA sont applicables à toute utilisation de SAF devant faire l'objet d'une demande afin de réduire les obligations de compensation des exploitants d'avions au titre de CORSIA.

ÉVALUATION

L'inclusion des exigences européennes pour les SAF répond à la demande de l'OACI (Doc 9988) (Para. 4.2.14) de fournir des estimations des émissions réelles du cycle de vie des SAF qui sont utilisées ou dont le déploiement est prévu ainsi que la méthodologie utilisée pour l'analyse du cycle de vie. Elle est donc fournie à titre d'information uniquement et aucune autre évaluation de ses avantages en termes de réduction des émissions de l'aviation n'est fournie dans cette section commune du plan d'action.

2.4 Projets de recherche et développement sur les SAF

2.4.1 La trajectoire européenne des biocarburants avancés

Une approche actualisée et renouvelée de l'initiative Biofuels FlightPath de 2011²⁷, était nécessaire pour donner une impulsion supplémentaire à sa mise en œuvre. En conséquence, la Commission européenne a lancé en 2016 le nouveau Biofuels FlightPath afin de prendre en compte les évolutions récentes et de s'attaquer aux obstacles actuels identifiés pour le déploiement des SAF.

Le Biofuels FlightPath a été géré par une équipe centrale, composée de représentants d'Airbus, d'Air France, de KLM, d'IAG, d'IATA, de BiojetMap, de SkyNRG et de Lufthansa du côté de l'aviation, et de Mossi Ghisolfi, Neste, Honeywell-UOP, Total et Swedish Biofuels du côté des producteurs de biocarburants.

Une équipe exécutive spécialisée, formée par SENASA, ONERA, Transport & Mobility Leuven et Wageningen UR, a coordonné pendant trois ans la stratégie des parties

²⁷ En juin 2011, la Commission européenne, en étroite coordination avec Airbus, les principales compagnies aériennes européennes (Lufthansa, Air France/KLM et British Airways) et les principaux producteurs européens de biocarburants (Choren Industries, Neste Oil, Biomass Technology Group et UOP), a lancé l'**European Advanced Biofuels Flight-path**. Cette initiative à l'échelle de l'industrie visait à accélérer la commercialisation des biocarburants pour l'aviation en Europe, avec pour objectif initial la commercialisation de 2 millions de tonnes de SAF d'ici 2020, objectif qui n'a pas été atteint en raison des difficultés commerciales liées à l'approvisionnement à grande échelle en SAF.

prenantes dans le domaine de l'aviation en soutenant les activités de l'équipe centrale et en fournissant des recommandations judicieuses à la Commission européenne.

Un certain nombre de communications et d'études ont été livrées et sont accessibles au public²⁸.

Le projet s'est conclu par une conférence des parties prenantes à Bruxelles le 27 novembre 2019, et la publication d'un rapport résumant ses résultats.

2.4.2 Projets financés dans le cadre du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne

Depuis 2016, sept nouveaux projets ont été financés par le programme Horizon 2020, qui est le plus grand programme de recherche et d'innovation de l'UE.

BIO4A²⁹ : Le projet "*Advanced Sustainable Biofuels for Aviation*" prévoit de démontrer la première production et utilisation à grande échelle en Europe de SAF obtenus à partir de lipides résiduels tels que l'huile de cuisson usagée.

Le projet étudiera également l'offre de matières premières durables produites à partir de cultures résistantes à la sécheresse, comme la caméline, cultivées sur des terres marginales dans les régions méditerranéennes de l'UE. En adoptant une combinaison de charbon bio et d'autres amendements du sol, il sera possible d'augmenter la fertilité du sol et sa résilience au changement climatique, tout en stockant du carbone fixe dans le sol.

BIO4A testera également l'utilisation de SAF sur l'ensemble de la chaîne logistique à l'échelle industrielle et dans les conditions du marché, et évaluera enfin les performances de durabilité environnementale et socio-économiques de l'ensemble de la chaîne de valeur.

Démarré en mai 2018, BIO4A durera jusqu'en 2022 ; il est mené par un consortium de sept partenaires de cinq pays européens.

KEROGREEN³⁰ : *Production de kérosène de qualité aéronautique durable à partir d'eau et d'air, alimentée par de l'électricité renouvelable, par la séparation du CO₂, la formation de gaz de synthèse et la synthèse Fischer-Tropsch (KEROGREEN)*, est une action de recherche et d'innovation (*Research and Innovation Action RIA*) menée par six partenaires de quatre pays européens visant à développer et à tester une voie de conversion innovante pour la production de SAF à partir d'eau et d'air alimentée par de l'électricité renouvelable.

La nouvelle approche et le nouveau processus de KEROGREEN réduisent les émissions globales de CO₂ en créant un cycle fermé de combustible à base de carbone et, dans le même temps, créent une capacité de stockage d'énergie à grande échelle et à long terme qui renforcera la sécurité énergétique de l'UE et permettra la création d'un secteur des transports durable.

La durée prévue du projet KEROGREEN est d'avril 2018 à mars 2022.

FlexJET³¹ : *Sustainable Jet Fuel from Flexible Waste Biomass (flexJET)* est un projet de quatre ans visant à diversifier la matière première pour les SAF au-delà des huiles et des graisses végétales, pour passer à l'huile bio-brut produite à partir d'une large gamme de déchets organiques. Il s'agit également de l'une des premières technologies à utiliser de l'hydrogène vert provenant des déchets traités pour le processus de raffinage en aval, maximisant ainsi les économies de gaz à effet de serre.

²⁸ <https://www.biofuelsflightpath.eu/ressources>

²⁹ www.bio4a.eu

³⁰ www.kerogreen.eu

³¹ www.flexjetproject.eu

Le projet vise à construire une usine de démonstration pour une utilisation de 12 t/jour de déchets alimentaires et commerciaux et de 4000 l/jour d'huile de cuisson usagée (UCO), à produire de l'hydrogène pour le raffinage par séparation du gaz de synthèse sur la base de la technologie d'absorption à oscillation de pression, et enfin à livrer 1 200 tonnes de SAF (ASTM D7566 Annexe 2) pour les vols commerciaux à British Airways.

Le consortium, qui compte 13 organisations partenaires, a rassemblé certains des meilleurs chercheurs, fournisseurs de technologies industrielles et experts en énergies renouvelables de toute l'Europe. Le projet a une durée totale de 48 mois, d'avril 2018 à mars 2022.

BioSFerA³² : Le projet « *Biofuels production from Syngas Fermentation for Aviation and maritime use* » (BioSFerA) vise à valider une voie thermo-chimique et biochimique combinée afin de développer une technologie interdisciplinaire rentable pour produire des carburants durables pour l'aviation et la marine. À la fin du projet, des biocarburants aéronautiques et maritimes de nouvelle génération, entièrement dérivés de la biomasse de deuxième génération, seront produits et validés par des partenaires industriels à une échelle pilote. Le projet entreprendra une évaluation complète de la chaîne de valeur qui aboutira à une analyse finale visant à définir une voie pour l'introduction sur le marché du concept du projet. Des évaluations transversales réalisées sur tous les processus testés et validés compléteront les résultats du projet d'un point de vue économique, environnemental et social.

Le projet est réalisé par un consortium de 11 partenaires de 6 pays européens et sa durée prévue est du 1^{er} avril 2020 au 31 mars 2024.

BL2F³³ : Le projet *Black Liquor to Fuel* (BL2F) utilisera la « liqueur noire » pour créer un biocarburant propre et de haute qualité. La liqueur noire est un flux secondaire de l'industrie de la pâte chimique qui peut être transformé en carburant, réduisant ainsi les déchets et offrant une alternative aux combustibles fossiles. Lancé en avril 2020, BL2F développera un processus intégré de "liquéfaction hydrothermique" (HTL), le premier du genre, dans les usines de pâte à papier, ce qui permettra de réduire les émissions de carbone lors de la création du combustible intermédiaire. Celui-ci sera ensuite amélioré dans les raffineries de pétrole pour se rapprocher des produits finaux et fournir une matière première pour les carburants marins et aériens.

BL2F vise à contribuer à une réduction de 83 % des émissions de CO₂ par rapport aux combustibles fossiles. Un large déploiement des procédés développés par BL2F, utilisant une variété de biomasse, pourrait produire plus de 50 milliards de litres de biocarburants avancés d'ici 2050.

Le projet réunit 12 partenaires de 8 pays d'Europe et sa durée prévue est du 1^{er} avril 2020 au 31 mars 2023.

FLITE³⁴ : Le consortium *Fuel via Low Carbon Integrated Technology from Ethanol* (FLITE) propose d'étendre l'approvisionnement en carburéacteur à faible teneur en carbone en Europe en concevant, construisant et démontrant une technologie innovante de conversion de l'alcool en carburéacteur (ATJ) à base d'éthanol dans une unité de production avancée ATJ (ATJ-APU). L'ATJ-APU produira des mélanges de carburéacteur à partir d'éthanol non-alimentaire avec des réductions de GES de plus de 70 % par rapport au carburéacteur conventionnel. Le projet permettra de démontrer plus de 1 000 heures d'exploitation et la production de plus de 30 000 tonnes de carburant d'aviation durable.

³² <https://biosfera-project.eu>

³³ <https://www.bl2f.eu>

³⁴ <https://cordis.europa.eu/project/id/857839>

La diversité des sources d'éthanol offre la possibilité de produire des SAF à des coûts compétitifs, ce qui accélère leur adoption par les compagnies aériennes commerciales et ouvre la voie à leur mise en œuvre.

Le projet est réalisé par un consortium de cinq partenaires de six pays européens et sa durée prévue est du 1^{er} décembre 2020 au 30 novembre 2024.

TAKE-OFF³⁵ : Projet industriel qui vise à changer la donne en matière de production rentable de SAF à partir de CO₂ et d'hydrogène. La technologie unique TAKE-OFF est basée sur la conversion de CO₂ et H₂ en SAF via l'éthylène comme intermédiaire. Ses partenaires industriels s'associeront à des groupes de recherche pour mettre au point un procédé très innovant permettant de produire du SAF à moindre coût, avec un meilleur rendement énergétique et un meilleur rendement carbone que le procédé de référence actuel de Fischer-Tropsch. Les principaux acteurs industriels de TAKE-OFF devraient permettre la démonstration de l'ensemble de la chaîne technologique, en utilisant le CO₂ capté par l'industrie et l'hydrogène produit par électrolyse. Les activités de démonstration fourniront des données précieuses pour des analyses techniques, économiques et environnementales complètes, avec une perspective sur les usines chimiques du futur.

Le projet est réalisé par un consortium de neuf partenaires de cinq pays européens et sa durée prévue est du 1^{er} janvier 2021 au 24 décembre 2024.

ÉVALUATION

Ces informations sur les projets européens de recherche et développement sur les SAF sont incluses dans cette section commune du plan d'action pour compléter les informations sur les mesures relatives aux carburants d'aviation durables et pour informer sur les efforts européens collectifs. Aucune autre évaluation quantitative des avantages de cette mesure européenne collective en termes de réduction des émissions de l'aviation n'est fournie dans la section commune de ce plan d'action.

³⁵ <https://cordis.europa.eu/project/id/101006799>



3. AMÉLIORATIONS OPÉRATIONNELLES

3.1 L'initiative Ciel unique européen de l'UE et SESAR

3.1.1 Le projet SESAR

Ciel unique européen et SESAR

La politique Ciel unique européen (*Single European Sky - SES*) de l'Union européenne vise à réformer la gestion du trafic aérien (ATM) en Europe afin d'améliorer ses performances en termes de capacité à gérer des volumes variables de vols de manière plus sûre, plus rentable et plus respectueuse de l'environnement.

Le programme SESAR (*Single European Sky ATM Research*) aborde la dimension technologique du Ciel unique européen, visant notamment à déployer une infrastructure ATM moderne, interopérable et performante en Europe.

SESAR contribue aux objectifs de performance du Ciel unique en définissant, validant et déployant des solutions technologiques et opérationnelles innovantes pour gérer le trafic aérien de manière plus efficace. SESAR coordonne et concentre toutes les activités de recherche et développement (R&D) de l'UE dans le domaine de la gestion du trafic aérien.

SESAR est pleinement aligné sur les objectifs de l'Union en matière de mobilité durable et numérisée et est orienté vers leur réalisation progressive au cours de la prochaine décennie. Pour mettre en œuvre le projet SESAR, la Commission a mis en place avec l'industrie un cycle d'innovation comprenant trois phases interdépendantes : définition, développement et déploiement. Ces phases sont pilotées par des partenariats (entreprise commune SESAR et gestionnaire de déploiement SESAR) impliquant toutes les catégories de parties prenantes de la gestion du trafic aérien.

Guidée par le plan directeur ATM européen, l'entreprise commune SESAR (SESAR JU) est chargée de définir, développer, valider et fournir des solutions techniques et opérationnelles pour moderniser le système ATM européen et apporter des avantages à l'Europe et à ses citoyens. Le programme de recherche de SESAR JU est articulé autour de phases successives, SESAR 1 (de 2008 à 2016), SESAR 2020 (commencée en 2016) et SESAR 3 (commencée en 2022). Il fournit des solutions SESAR dans quatre domaines clés, à savoir les opérations aéroportuaires, les opérations réseau, les services de trafic aérien et les outils technologiques.

La contribution de SESAR aux objectifs de haut niveau fixés par la Commission est examinée en permanence par SESAR JU et est tenue à jour dans le plan directeur ATM.

SESAR et les objectifs du Green Deal européen







Le Green Deal européen lancé par la Commission européenne en décembre 2019 vise à créer le premier bloc climatiquement neutre au monde d'ici 2050. Cet objectif ambitieux appelle des changements profonds dans l'ensemble du secteur de l'aviation et met l'accent de façon nettement plus marquée sur l'impact environnemental des vols. De multiples voies technologiques sont nécessaires, dont l'une est la transformation numérique de la gestion du trafic aérien, où l'innovation SESAR entre en jeu. Au cours des dix dernières années, SESAR JU s'est efforcée d'améliorer l'empreinte environnementale de la gestion du trafic aérien, depuis les émissions CO₂ et non-CO₂ jusqu'au bruit et à la qualité de l'air local. Le programme examine chaque phase de vol et l'utilisation de l'espace aérien et voit quelles technologies peuvent être utilisées pour éliminer les inefficacités en matière de carburant. Il investit également dans la synchronisation des échanges de données et des opérations au sol et dans les airs pour garantir un impact maximal. L'ambition est de réduire d'ici 2035 les émissions moyennes de CO₂ par vol de 0,8 à 1,6 tonne, en tenant compte de l'ensemble du vol de la porte d'embarquement à la porte de débarquement.

Résultats

À ce jour, SESAR JU a fourni plus de 90 solutions à mettre en œuvre, dont beaucoup offrent des avantages directs et indirects pour l'environnement, d'autres solutions étant prévues dans le cadre de SESAR 2020. Ces solutions, décrites dans le catalogue de solutions SESAR, comprennent des solutions telles que la séparation des turbulences de sillage (pour les arrivées et les départs), l'utilisation optimisée de la configuration des pistes pour les aéroports à pistes multiples, ou encore l'intégration optimisée des flux de trafic à l'arrivée et au départ pour les aéroports à piste unique et à pistes multiples. Pour l'avenir, on prévoit que la prochaine génération de solutions SESAR contribuera à une réduction de quelque 450 kg de CO₂ par vol.

Compte tenu de l'urgence de la situation, SESAR JU s'efforce d'accélérer la transformation numérique afin de soutenir une transition rapide vers une aviation plus verte. Les démonstrateurs à grande échelle sont essentiels pour combler le fossé de l'industrialisation, amener ces innovations à maturité et encourager une mise en œuvre rapide par l'industrie. De tels efforts à grande échelle ont déjà commencé avec le projet ALBATROSS récemment lancé. Ils seront également au centre de la future entreprise commune SESAR 3, qui devrait donner un nouvel élan à cette importante entreprise.

Les **ambitions de performance pour 2035** par rapport à une **base 2012** pour l'espace aérien contrôlé pour chaque domaine de performance clé sont présentées dans la figure ci-dessous, avec l'ambition pour l'environnement exprimée en réduction de CO₂ mise en évidence par le rectangle pointillé vert dans le tableau 5 ci-dessous.

Key performance area	SES high-level goals 2005	Key performance indicator	Performance ambition vs. baseline			
			Baseline value (2012)	Ambition value (2035)	Absolute improvement	Relative improvement
 Capacity	Enable 3-fold increase in ATM capacity	Departure delay⁴, min/dep	9.5 min	6.5-8.5 min	1-3 min	10-30%
		IFR movements at most congested airports⁵, million	4 million	4.2-4.4 million	0.2-0.4 million	5-10%
		Network throughput IFR flights⁵, million	9.7 million	~15.7 million	~6.0 million	~60%
		Network throughput IFR flight hours⁵, million	15.2 million	~26.7 million	~11.5 million	~75%
 Cost efficiency	Reduced ATM services unit costs by 50% or more	Gate-to-gate direct ANS cost per flight¹ · EUR(2012)	EUR 960	EUR 580-670	EUR 290-380	30-40%
		Gate-to-gate fuel burn per flight², kg/flight	5280 kg	4780-5030 kg	250-500 kg	5-10%
 Operational efficiency		Additional gate-to-gate flight time per flight, min/flight	8.2 min	3.7-4.1 min	4.1-4.5 min	50-55%
		Within the: Gate-to-gate flight time per flight ³ , min/flight	[111 min]	[116 min]		
 Environment	Enable 10% reduction in the effects flights have on the environment	Gate-to-gate CO₂ emissions, tonnes/flight	16.6 tonnes	15-15.8 tonnes	0.8-1.6 tonnes	5-10%
 Safety	Improve safety by factor 10	Accidents with direct ATM contribution⁴, #/year Includes in-flight accidents as well as accidents during surface movement (during taxi and on the runway)	0.7 (long-term average)	no ATM related accidents	0.7	100%
 Security		ATM related security incidents resulting in traffic disruptions	unknown	no significant disruption due to cyber-security vulnerabilities	unknown	-

1 Unit rate savings will be larger because the average number of Service Units per flight continues to increase.
2 "Additional" means the average flight time extension caused by ATM inefficiencies.
3 Average flight time increases because the number of long-distance flights is forecast to grow faster than the number of short-distance flights.
4 All primary and secondary (reactionary) delay, including ATM and non-ATM causes.
5 Includes all non-segregated unmanned traffic flying IFR, but not the drone traffic flying in airspace below 500 feet or the new entrants flying above FL 600
6 In accordance with the PRR definition: where at least one ATM event or item was judged to be DIRECTLY in the causal chain of events leading to the accident. Without that ATM event, it is considered that the accident would not have happened.

Tableau 5 : ambitions de performance pour 2035 pour l'espace aérien contrôlé (Source : *European ATM Master Plan 2020 Edition*).

Si toutes les solutions SESAR apportent une valeur ajoutée aux performances de la gestion du trafic aérien, certaines ont un potentiel plus élevé pour contribuer aux performances de l'ensemble du réseau ATM européen et nécessitent un déploiement coordonné et synchronisé. Pour faciliter le déploiement de ces solutions SESAR, la Commission établit des projets communs qui prévoient la mise en œuvre synchronisée de certaines fonctionnalités essentielles de la gestion du trafic aérien basées sur des solutions SESAR développées et validées par SESAR JU.

Le premier projet commun a été lancé en 2014 et sa mise en œuvre est actuellement coordonnée par le responsable du déploiement de SESAR sur l'ensemble du réseau ATM européen. Il comprend six fonctionnalités ATM visant notamment à :

- Optimiser l'éloignement des avions lors de l'atterrissage et du décollage, réduisant ainsi les retards et la consommation de carburant tout en garantissant les conditions de vol les plus sûres.
- Permettre aux avions d'emprunter leur trajectoire préférée et généralement la plus économe en carburant (route libre).
- Mettre en œuvre une étape initiale, mais fondamentale, vers la numérisation des communications entre les avions et les contrôleurs et entre les acteurs au sol, permettant une meilleure planification, une meilleure prévisibilité, donc moins de retards et une optimisation du carburant et de l'expérience des passagers.

Le premier projet commun³⁶ devrait être achevé d'ici 2027. Toutefois, les avantages mis en évidence dans le **figure 6** ci-dessous ont été mesurés avec les fonctionnalités déjà mises en œuvre.



Figure 6 : premiers résultats du premier projet commun mis en œuvre.

3.1.2 Recherche exploratoire SESAR (V0 à V1)

Les projets de recherche exploratoire SESAR portent sur de nouveaux concepts allant au-delà de ceux identifiés dans le plan directeur ATM européen ou sur des technologies et méthodes émergentes. Les connaissances acquises peuvent être transférées dans les activités industrielles et de démonstration de SESAR. Les projets de recherche exploratoires SESAR ne sont pas soumis à des objectifs de performance, mais doivent porter sur les performances auxquelles ils sont susceptibles de contribuer.

3.1.3 Projets de recherche et de validation industriels SESAR (axés sur l'environnement)

Les principaux résultats des projets de recherche et de validation industriels consacrés aux impacts environnementaux de l'aviation dans SESAR 1 sont les suivants :

- Le développement initial par EUROCONTROL de la plate-forme web **IMPACT**³⁷ qui permet d'évaluer l'impact du bruit et d'estimer la consommation de carburant et les émissions qui en résultent à partir d'entrées communes, ce qui permet d'effectuer des compromis. IMPACT a depuis été continuellement maintenu et développé par EUROCONTROL, utilisé pour les évaluations du groupe de base de données et de modélisation du Comité de la protection de l'environnement en aviation (CAEP) de l'OACI, pour la réalisation d'études à l'appui des éditions 2016 et 2019 du Rapport environnemental de l'aviation européenne (EAER), et a été adopté par un grand nombre de parties prenantes du secteur de l'aviation.
- Le développement initial et la maintenance de **Open-ALAQs** qui fournit un moyen de réaliser l'inventaire des émissions dans les aéroports, le calcul de la concentration des émissions et la dispersion.
- Le développement d'un processus d'évaluation IMPACT³⁸.

³⁶ https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air/welcome-sesar-project_en

³⁷ <https://www.eurocontrol.int/platform/integrated-aircraft-noise-and-emissions-modelling-platform>

³⁸ <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/transversal/SESAR%202020%20-%20Environment%20Impact%20Assessment%20Guidance.pdf>

Il convient de noter que ces outils et cette méthodologie ont été développés pour couvrir la phase de recherche et la future phase de déploiement de SESAR, ainsi que pour aider les États et les agences européennes à réaliser des évaluations de l'impact environnemental à des fins opérationnelles ou réglementaires. Ils sont toujours utilisés dans le cadre de SESAR.

La recherche industrielle et la validation SESAR évaluent et valident les concepts techniques et opérationnels dans des environnements opérationnels simulés et réels selon un ensemble de domaines de performance clés. Ces concepts évoluent tout au long du programme SESAR, de V1 à V3, pour devenir des solutions SESAR prêtes à être déployées.

SESAR dispose d'une large gamme de solutions pour améliorer l'efficacité de la gestion du trafic aérien, dont certaines sont spécifiquement conçues pour améliorer les performances environnementales, en réduisant l'impact sonore autour des aéroports et/ou la consommation de carburant et les émissions dans toutes les phases du vol.

Un catalogue des solutions SESAR est disponible sur le site³⁹. Celles qui concernent les impacts environnementaux sont identifiées par le pictogramme suivant :



3.1.4 SESAR2020 Recherche et validation industrielles - Évaluation des performances environnementales

L'évaluation systématique des impacts environnementaux de l'aviation est au cœur des activités de recherche industrielle et de validation de SESAR depuis SESAR 1, avec un objectif très ambitieux en matière d'efficacité carburant/CO₂, à savoir une économie de 500 kg de carburant en moyenne par vol.

L'équipe d'intégration de contenu suit les progrès des solutions SESAR vers cet objectif dans un document appelé Rapport d'évaluation des performances et d'analyse des écarts (PAGAR). La version actualisée du PAGAR 2019 présente les réalisations environnementales suivantes :

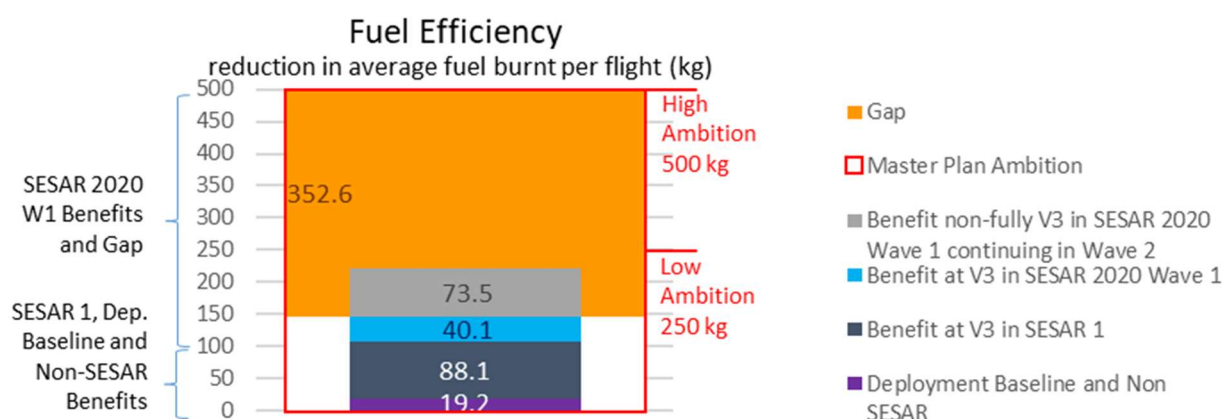


Figure 7 : rendement énergétique de SESAR par rapport à l'écart (Source : version actualisée de PAGAR 2019).

Les avantages en matière d'efficacité énergétique au niveau de maturité V3 dans la vague 1 de SESAR 2020 représentent une moyenne de 40,1 kg d'économies de carburant par vol. Il y aurait donc un écart de 352,6 g d'économies de carburant par vol à combler par la vague 2, par rapport à l'objectif Ambition d'économies de carburant élevées (et un

³⁹ <https://www.sesarju.eu/news/sesar-solution-catalogue-third-edition-now-out>

écart de 102,6 kg par rapport à l'objectif Ambition faible, car le plan directeur définit une fourchette de 5 à 10 % comme objectif). Potentiellement, 73,5 kg pourraient être économisés à partir de la première vague, les solutions non entièrement V3 se poursuivant lors de la deuxième vague.

Une économie de carburant de 40,1 kg par vol de la CEAC équivaut à environ 0,76 % des 5 280 kg de carburant consommés en moyenne par un vol de la CEAC en 2012 (référence SESAR). Bien que cela puisse sembler marginal, en 2035, à l'échelle de la CEAC, cela équivaudrait à 1,9 million de tonnes de CO₂ économisées, soit l'équivalent du CO₂ émis par 165 000 vols Paris-Berlin, ou une ville de 258 000 citoyens européens, ou le CO₂ capturé par 95 millions d'arbres par an.

Dans SESAR, une valeur de 5 280 kg de carburant par vol pour la CEAC (y compris la région océanique) est utilisée comme référence⁴⁰. Sur la base des informations fournies par le document PAGAR 2019⁴¹, les avantages à la fin de la première vague pourraient être d'environ 3 % d'économies de CO₂ /carburant réalisées d'ici 2025, soit 147,4 kg de carburant par vol. Jusqu'à présent, l'objectif de la deuxième vague reste d'environ 7 % d'économies supplémentaires de CO₂ /carburant (352,6 kg de carburant) pour atteindre l'objectif initial de l'Ambition d'environ 10 % d'économies de CO₂ /carburant (500 kg de carburant) par vol d'ici 2035. Au-delà de 2035, il n'y a pas encore d'Ambition SESAR. À cela pourraient s'ajouter les bénéfiques non encore estimés des projets de recherche exploratoire⁴².

3.1.5 Projets de démonstration SESAR AIRE

Outre ses activités principales, SESAR JU a cofinancé des projets dans le cadre desquels les parties prenantes de l'ATM ont travaillé en collaboration pour réaliser des essais en vol et des démonstrations de solutions intégrées. Ces projets visaient à réduire les émissions de CO₂ pour les opérations de surface, terminales et océaniques et à accélérer considérablement le rythme du changement. Entre 2009 et 2012, SESAR JU a cofinancé un total de 33 projets « verts » en collaboration avec des partenaires mondiaux, dans le cadre de l'Initiative d'interopérabilité atlantique pour réduire les émissions (AIRE).

AIRE⁴³ (*Atlantic Interoperability Initiative to Reduce Emissions*) est la première initiative environnementale à grande échelle réunissant des acteurs de l'aviation des deux côtés de l'Atlantique. Jusqu'à présent, trois cycles AIRE ont été menés à bien.

Au total, 15 767 essais en vol ont été réalisés, impliquant plus de 100 parties prenantes, démontrant des économies allant de 20 à 1 000 kg de carburant par vol (ou 63 à 3 150 kg de CO₂), et des améliorations dans les opérations quotidiennes. Neuf autres projets de démonstration ont eu lieu de 2012 à 2014, également axés sur l'environnement, et au cours de la période 2015-2016, SESAR JU a cofinancé quinze autres projets de démonstration à grande échelle, plus ambitieux en termes de couverture géographique et de technologie.

3.1.6 Démonstrations à très grande échelle (Very Large Scale Demonstrations - VLD) de SESAR 2020

Les VLD évaluent les solutions SESAR à une échelle beaucoup plus grande et dans le cadre d'opérations réelles afin de prouver leur applicabilité et d'encourager l'adoption rapide des solutions matures V3.

⁴⁰ Voir le plan directeur ATM de SESAR - Edition 2020 (www.atmmasterplan.eu) – eATM.

⁴¹ Voir le rapport d'analyse des lacunes dans l'évaluation des performances SESAR (PAGAR), version actualisée de 2019 v00.01.04, 31-03-2021.

⁴² Voir les projets de recherche exploratoire SESAR - <https://www.sesarju.eu/exploratoryresearch>

⁴³ https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air/environment/aire-atlantic-interoperability-initiative-reduce-emissions_en

SESAR JU a récemment attribué à **ALBATROSS**⁴⁴, un consortium regroupant les principaux groupes d'acteurs de l'aviation européenne, le mandat de démontrer comment les réalisations techniques et opérationnelles de la R&D de ces dernières années peuvent transformer l'aviation actuelle, grande consommatrice de carburant, en un secteur industriel respectueux de l'environnement.

Le consortium ALBATROSS effectuera une série de vols de démonstration, au cours desquels l'objectif de mise en œuvre d'un "vol parfait" (en d'autres termes, le vol le plus économe en carburant) sera exploré et largement démontré en conditions réelles, par le biais d'une série d'essais réels dans divers environnements opérationnels européens. Les démonstrations s'étendront sur une période de plusieurs mois et s'appuieront sur plus de 1 000 vols de démonstration.

3.1.7 Préparation de SESAR

Complétant le plan directeur ATM 2020 et la proposition de partenariat de haut niveau, l'agenda stratégique pour la recherche et l'innovation (*Strategic Research and Innovation Agenda - SRIA*) détaille les feuilles de route pour la recherche et l'innovation afin de réaliser le Ciel numérique européen, à la hauteur des ambitions du « Green Deal européen » et de l'initiative « Une Europe adaptée à l'ère du numérique ».

Le SRIA⁴⁵ identifie entre autres la nécessité de continuer à travailler sur les « trajectoires vertes optimales », sur les impacts de l'aviation autres que le CO₂, et la nécessité d'accélérer la décarbonation de l'aviation par des incitations opérationnelles et commerciales.

ÉVALUATION

L'évaluation quantitative du scénario d'amélioration de l'exploitation et de l'ATM de 2020 à 2050 a été incluse dans les scénarios modélisés par EUROCONTROL sur la base des analyses d'efficacité du projet SESAR indiquées à la figure 7 ci-dessus et est présentée à la Section A ci-dessus (Scénario de référence de la CEAC et avantages estimés des mesures d'atténuation mises en œuvre).

Tableau 9 : prévisions des émissions de CO₂ pour les scénarios d'amélioration de la gestion du trafic aérien.

Année	Émissions de CO ₂ (10 ⁹ kg)	
	Scénario de base	Scénario des mesures mises en œuvre
		Amélioration de l'ATM
2030	160.29	149.9
2040	197.13	177.4
2050	210.35	197.4

Pour des raisons de disponibilité des données, les résultats présentés dans ce tableau n'incluent pas le trafic de fret.

Il convient de noter que la consommation de carburant est supposée ne pas être affectée par l'utilisation de carburants d'aviation durables.

⁴⁴ <https://www.sesarju.eu/projects/ALBATROSS>

⁴⁵ <https://www.sesarju.eu/node/3697>



4. MESURES BASÉES SUR LE MARCHÉ

4.1 Le système de compensation et de réduction du carbone pour l'aviation internationale

Les États membres de la CEAC ont toujours été de fervents partisans d'un système de mesures fondé sur le marché pour l'aviation internationale, afin d'encourager et de récompenser les bons choix en matière d'investissement et d'exploitation. Ils ont donc accueilli favorablement l'accord sur le système de compensation et de réduction du carbone pour l'aviation internationale (CORSIA).

La 39^{ème} Assemblée générale de l'OACI (2016) a réaffirmé l'objectif de 2013 consistant à stabiliser les émissions de CO₂ de l'aviation internationale au niveau de 2020. En outre, les États ont adopté l'introduction d'une mesure mondiale fondée sur le marché, à savoir le "*système de compensation et de réduction du carbone pour l'aviation internationale*" (CORSIA), afin de compenser et de réduire les émissions de CO₂ de l'aviation internationale au-dessus d'un niveau de référence, correspondant à la moyenne des émissions des années 2019 et 2020, au moyen d'unités internationales standard de réduction des émissions de CO₂ qui seraient mises sur le marché mondial. Cette réalisation majeure a été accueillie très favorablement par les États européens qui ont activement promu l'atténuation des émissions internationales de l'aviation au niveau mondial.

4.1.1 Développement et mise à jour des normes CORSIA de l'OACI

Les États européens ont pleinement soutenu les travaux de l'OACI sur l'élaboration de l'annexe 16, volume IV de la Convention relative à l'aviation civile internationale contenant les normes et pratiques recommandées (SARP) pour la mise en œuvre de CORSIA, qui a été adoptée par le Conseil de l'OACI en juin 2018.

Dans le cadre du programme de travail du Comité de la protection de l'environnement en aviation (CAEP) de l'OACI pour le cycle CAEP/12, le groupe de travail 4 (WG4) du CAEP est chargé de tenir à jour le volume IV de l'annexe 16 et les documents d'orientation connexes, et de proposer des révisions pour améliorer ces documents si nécessaire.

L'Europe contribue avec des ressources importantes aux travaux du CAEP-WG4 et l'AESA en particulier en fournissant un corapporteur du WG4 et en codirigeant la tâche du WG4 sur la mise à jour de l'annexe 16, volume IV et des documents d'orientation connexes.

4.1.2 Mise en œuvre de CORSIA

En application de leur engagement dans la « déclaration de Bratislava » de 2016, les 44 États membres de la CEAC ont notifié à l'OACI leur décision de participer volontairement au CORSIA dès le début de la phase pilote en 2021 et se sont effectivement engagés dans sa mise en œuvre. Cela montre le plein engagement de l'UE, de ses États membres et des autres États membres de la CEAC à contrer la croissance prévue des émissions totales de CO₂ du secteur du transport aérien et à atteindre une croissance globale neutre en carbone.

En juin 2020, le Conseil européen a adopté la [Décision du Conseil \(UE\) 2020/954](#) relative à la position à prendre au nom de l'Union européenne au sein de l'Organisation de l'aviation civile internationale en ce qui concerne la notification de la participation volontaire au système de compensation et de réduction des émissions de carbone pour l'aviation internationale (CORSIA) à partir du 1er janvier 2021 et l'option retenue pour le calcul des besoins de compensation des exploitants d'aéronefs pendant la période 2021-2023.

ÉVALUATION

CORSIA est une mesure mondiale dont l'évaluation est entreprise au niveau mondial par l'OACI. Ainsi, l'évaluation des bénéfices apportés par CORSIA en termes de réduction des émissions européennes n'est pas fournie dans ce plan d'action.

4.2 Le système d'échange de quotas d'émission de l'UE et ses liens avec d'autres systèmes (Suisse et Royaume-Uni)

Le système d'échange de quotas d'émission de l'UE (SEQE-UE) est la pierre angulaire de la politique de l'Union européenne en matière de lutte contre le changement climatique, et un outil essentiel pour réduire les émissions de gaz à effet de serre de manière rentable, y compris dans le secteur de l'aviation.

Les 30 États de l'EEE en Europe ont déjà mis en œuvre le système d'échange de quotas d'émission de l'UE, y compris le secteur de l'aviation avec environ 500 exploitants d'aéronefs participant à l'approche de plafonnement et d'échange de quotas pour limiter les émissions de CO₂. Ce système a été le premier et reste le plus important système international de plafonnement des émissions de gaz à effet de serre. Entre 2013 et 2020, le SEQE-UE a permis d'économiser environ 200 millions de tonnes d'émissions de CO₂ pour l'aviation intra-européenne.

Le SEQE-UE est opérationnel dans 30 pays : les 27 États membres de l'UE, l'Islande, le Liechtenstein et la Norvège. Le SEQE-UE couvre actuellement la moitié des émissions de CO₂ de l'UE, englobant celles d'environ 11 000 centrales électriques et installations industrielles dans ces 30 pays, et, dans son champ d'application actuel, d'environ 500 exploitants d'aéronefs commerciaux et non commerciaux qui effectuent des vols entre des aéroports de l'Espace économique européen (EEE). La directive SEQE-UE a été révisée conformément aux conclusions du Conseil européen d'octobre 2014⁴⁶ qui ont confirmé que le SEQE-UE sera le principal instrument européen pour atteindre l'objectif contraignant de

⁴⁶ <http://www.consilium.europa.eu/en/meetings/european-council/2014/10/23-24/>

l'UE pour 2030, à savoir une réduction d'au moins 40 %⁴⁷ ; elle sera révisée pour être alignée sur les dernières conclusions de décembre 2020⁴⁸, prescrivant une réduction nationale d'au moins 55 % (sans utiliser de crédits internationaux) des gaz à effet de serre par rapport à 1990.

Le SEQUE-UE a commencé à fonctionner en 2005, et pour l'aviation en 2012 ; une série de modifications importantes de son fonctionnement sont entrées en vigueur en 2013, renforçant le système. Le SEQUE-UE fonctionne selon le principe du « *cap and trade* ». Cela signifie qu'un « plafond », ou une limite, est fixé pour la quantité totale de certains gaz à effet de serre pouvant être émis par les usines, les centrales électriques, les autres installations et les exploitants d'aéronefs participant au système. Dans les limites de ce plafond, les entreprises peuvent se vendre ou s'acheter des quotas d'émission. La limite des quotas disponibles donne la certitude que l'objectif environnemental est atteint et confère aux quotas une valeur marchande.

Pour l'aviation, le plafond est calculé sur la base des émissions moyennes des années 2004-2006, tandis que l'allocation gratuite aux exploitants d'aéronefs est basée sur les données d'activité de 2010. Le plafond pour les activités aériennes pour la phase 2013-2020 du SEQUE-UE a été fixé à 95 % de ces émissions historiques de l'aviation. À partir de 2021, l'allocation gratuite aux exploitants d'aéronefs est réduite par un facteur de réduction linéaire (actuellement de 2,2 %) désormais applicable à tous les secteurs de l'ETS. Les exploitants d'aéronefs ont droit à une allocation gratuite basée sur un référentiel, mais celui-ci ne couvre pas la totalité des émissions. Les quotas restants doivent être achetés lors de ventes aux enchères ou sur le marché secondaire. Le système permet aux exploitants d'aéronefs d'utiliser des quotas pour l'aviation ou des quotas généraux (installations fixes) pour couvrir leurs émissions. Actuellement, 82 % des quotas d'aviation sont distribués à titre gratuit, 3 % font partie d'une réserve spéciale pour les nouveaux entrants et les entreprises à croissance rapide, et 15 % sont mis aux enchères.

La législation visant à inclure l'aviation dans le SEQUE-UE a été adoptée en 2008 par le Parlement européen et le Conseil⁴⁹.

Suite à l'accord de 2013 de l'OACI sur le développement de CORSIA, l'UE a décidé⁵⁰ de limiter le champ d'application du SEQUE de l'UE aux vols entre les aéroports situés dans l'Espace économique européen (EEE) pour la période 2013-2016, et de procéder à une nouvelle révision à la lumière des résultats de l'assemblée de l'OACI de 2016. La

⁴⁷ Directive (UE) 2018/410 du Parlement européen et du Conseil du 14 mars 2018 modifiant la directive 2003/87/CE afin de renforcer la rentabilité des réductions d'émissions et des investissements à faible intensité de carbone, et décision (UE) 2015/1814 : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0410>

⁴⁸ [1011-12-20-euco-conclusions-en.pdf \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D0377&from=EN)

⁴⁹ Directive 2008/101/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 modifiant la directive 2003/87/CE afin d'intégrer les activités aériennes dans le système communautaire d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0101&from=EN>

⁵⁰ Décision n° 377/2013/UE portant dérogation temporaire à la directive 2003/87/CE établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre dans la Communauté, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D0377&from=EN>

Commission européenne a évalué les résultats de la 39^{ème} assemblée de l'OACI et, à la lumière de ces résultats, un nouveau règlement a été adopté en 2017⁵¹.

La législation maintient le champ d'application du SEQE-UE pour l'aviation limité aux vols intra-EEE et établit la base de la mise en œuvre de CORSIA. Elle prévoit une législation européenne sur les règles de surveillance, de déclaration et de vérification par le biais d'un acte délégué au titre de la directive SEQE-UE de juillet 2019⁵². Elle prévoit la réalisation d'une nouvelle évaluation et la présentation d'un rapport au Parlement européen et au Conseil sur la manière de mettre en œuvre CORSIA dans le droit de l'Union par une révision de la directive SEQE-UE. Le Pacte vert européen et le plan climat 2030 ont clairement exposé l'intention de la Commission de proposer de réduire les quotas du SEQE-UE alloués gratuitement aux compagnies aériennes. Ce travail est en cours et fait partie du "paquet *Fit for 55*"⁵³.

La législation de l'UE prévoit que, lorsqu'un pays tiers prend des mesures pour réduire l'impact sur le changement climatique des vols au départ de ses aéroports, l'UE facilitera l'interaction entre le système de l'UE et les mesures de ce pays et les vols en provenance du pays tiers pourraient être exclus du champ d'application du SEQE-UE. C'est le cas entre l'UE et la Suisse⁵⁴ suite à l'accord visant à relier leurs systèmes respectifs d'échange de quotas d'émission, qui est entré en vigueur le 1^{er} janvier 2020.

En application de cet accord de liaison avec la Suisse, à partir de 2020, le SEQE-UE a été étendu à tous les vols au départ de l'EEE vers la Suisse, et la Suisse applique son SEQE à tous les vols au départ de son territoire vers les aéroports de l'EEE, ce qui garantit des conditions de concurrence équitables dans les deux sens des routes.

De même, et conformément à l'accord de commerce et de coopération entre l'UE et le Royaume-Uni conclu en décembre 2020, le SEQE-UE continue de s'appliquer aux vols au départ de l'EEE vers le Royaume-Uni, tandis qu'un SEQE britannique applique une tarification effective du carbone aux vols au départ du Royaume-Uni vers l'EEE.

Impact sur la consommation de carburant et/ou les émissions de CO₂

Le SEQE-UE a permis de réduire les émissions de CO₂ d'environ 200 millions de tonnes (MT) entre 2013 et 2020⁵⁵. Alors que les émissions de l'aviation dans le secteur pour les vols intra-EEE ont continué à croître, passant de 53,5 millions de tonnes de CO₂ en 2013

⁵¹ Règlement (UE) 2017/2392 du Parlement européen et du Conseil du 13 décembre 2017 modifiant la directive 2003/87/CE afin de maintenir les limitations actuelles du champ d'application pour les activités aériennes et de préparer la mise en œuvre d'une mesure globale fondée sur le marché à partir de 2021 :

http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2017.350.01.0007.01.ENG&toc=OJ:L:2017:350:TOC

⁵² Règlement délégué (UE) 2019/1603 de la Commission du 18 juillet 2019 complétant la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les mesures adoptées par l'Organisation de l'aviation civile internationale pour la surveillance, la déclaration et la vérification des émissions de l'aviation aux fins de la mise en œuvre d'une mesure mondiale fondée sur le marché :

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2019.250.01.0010.01.ENG

⁵³ [2021 commission programme de travail nouveaux objectifs politiques factsheet fr.pdf \(europa.eu\)](#)

⁵⁴ Décision déléguée (UE) 2020/1071 de la Commission du 18 mai 2020 modifiant la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil, en ce qui concerne l'exclusion des vols entrants en provenance de Suisse du système d'échange de quotas d'émission de l'UE, JO L 234 du 21.7.2020, p. 16.

⁵⁵ Voir le rapport environnemental 2019 de l'aviation européenne : "Entre 2013 et 2020, une économie nette estimée à 193,4 Mt de CO₂ (deux fois les émissions annuelles de la Belgique) sera réalisée par l'aviation via le SCEQE grâce au financement de la réduction des émissions dans d'autres secteurs", <https://www.eurocontrol.int/publication/european-aviation-environmental-report-2019>

à 69 millions en 2019, la flexibilité du SEQE-UE, selon laquelle les exploitants d'aéronefs peuvent utiliser n'importe quel quota pour couvrir leurs émissions, signifie que les impacts de CO₂ de ces vols n'ont pas conduit à une augmentation globale des émissions de gaz à effet de serre. Les émissions vérifiées de l'aviation couvertes par le SEQE-UE en 2019 par rapport à 2018 ont continué de croître, quoique plus modestement, avec une augmentation de 1 % par rapport à l'année précédente, soit environ 0,7 million de tonnes équivalent CO₂⁵⁶.

Pour compléter le signal prix du SEQE-UE, les revenus des enchères du SEQE-UE devraient être utilisés pour soutenir la transition vers la neutralité climatique. Dans le cadre du SEQE-UE (tous secteurs confondus), les États membres indiquent qu'entre 2012 et 2020, plus de 45 milliards d'euros de recettes provenant des enchères dans le cadre du SEQE-UE ont été utilisés pour lutter contre le changement climatique, et un soutien supplémentaire est disponible dans le cadre du Fonds d'innovation SEQE-UE existant qui devrait déployer plus de 12 milliards d'euros sur la période 2021-2030. L'incitation tarifaire actuelle du SEQE-UE par tonne pour le carburéacteur à émission zéro est insuffisante pour combler l'écart de prix avec le kérosène conventionnel. Toutefois, en investissant les recettes des enchères dans le Fonds pour l'innovation, le SEQE-UE peut également soutenir le déploiement de technologies révolutionnaires et réduire l'écart de prix.

En ce qui concerne la contribution à l'objectif de croissance neutre en carbone de l'OACI à partir de 2020, les États mettant en œuvre le SEQE-UE ont déjà réduit d'environ 200 MT, en termes « nets », leurs émissions de CO₂ dans le secteur de l'aviation, contribution qui continuera d'augmenter à l'avenir dans le cadre de la nouvelle législation. D'autres mesures de réduction des émissions prises, soit collectivement dans toute l'Europe, soit par l'un des États mettant en œuvre le SEQE-UE, contribueront également à la réalisation des objectifs mondiaux de l'OACI. Ces mesures sont susceptibles de modérer la croissance prévue des émissions de l'aviation.

ÉVALUATION

Le tableau 10 présente une évaluation quantitative des avantages du système d'échange de quotas d'émission de l'UE sur la base du champ d'application actuel (vols intra-européens).

Tableau 10 : résumé des réductions d'émissions estimées dans le cadre du SEQE-UE

Estimation des réductions d'émissions résultant du SEQE-UE⁵⁷

<i>Année</i>	<i>Réduction des émissions de CO₂</i>
<i>2013-2020</i>	<i>~200 MT⁵⁸</i>

⁵⁶ https://ec.europa.eu/clima/news/carbon-market-report-emissions-eu-ets-stationary-installations-fall-over-9_en

⁵⁷ Incluant les bénéfices agrégés du SCEQE et du SCEQE suisse pour 2020.

⁵⁸ Voir le rapport environnemental 2019 de l'aviation européenne : "Entre 2013 et 2020, une économie nette estimée à 193,4 MT de CO₂ (deux fois les émissions annuelles de la Belgique) sera réalisée par l'aviation via le SEQE-UE grâce au financement de la réduction des émissions dans d'autres secteurs" : <https://www.eurocontrol.int/publication/european-aviation-environmental-report-2019>.



5. MESURES SUPPLÉMENTAIRES

5.1 Accréditation Airport Carbon d'ACI

L'Airport Carbon Accreditation est un programme de certification pour la gestion du carbone dans les aéroports, basé sur des normes internationales de cartographie et de gestion du carbone, spécialement conçu pour le secteur aéroportuaire. Il a été lancé en 2009 par *Airport Council International* (ACI) EUROPE, l'association professionnelle des aéroports européens. Depuis lors, il s'est étendu à l'échelle mondiale et est aujourd'hui accessible aux membres de toutes les régions ACI.

Cette initiative de l'industrie a été officiellement approuvée par EUROCONTROL et la Conférence européenne de l'aviation civile (CEAC). Le programme est supervisé par un conseil consultatif indépendant composé de nombreux experts éminents et indépendants



des domaines de l'aviation et de l'environnement, dont la Commission européenne, la CEAC, l'OACI et la CCNUCC.

L'objectif sous-jacent du programme est d'encourager et de permettre aux aéroports de mettre en œuvre les meilleures pratiques de gestion du carbone et de l'énergie et d'obtenir une reconnaissance publique de leurs réalisations. Il exige des aéroports qu'ils mesurent leurs émissions de CO₂ conformément au protocole GHG du *World Resources Institute* et du *World Business Council for Sustainable Development* et qu'ils fassent vérifier leur inventaire d'émissions par un tiers indépendant.

En plus des quatre niveaux d'accréditation déjà existants, deux nouveaux niveaux d'accréditation ont été introduits en 2020 : le niveau 4 et le niveau 4+. L'introduction de ces deux nouveaux niveaux vise, d'une part, à aligner le programme sur les objectifs de l'Accord de Paris et, d'autre part, à donner, notamment aux aéroports qui ont déjà atteint un niveau élevé de maturité en matière de gestion du carbone, la possibilité de poursuivre leurs améliorations⁵⁹.

Les six étapes du programme sont présentées à la figure 8 et sont les suivantes : Niveau 1 "Cartographie", Niveau 2 "Réduction", Niveau 3 "Optimisation", Niveau 3+ "Neutralité", Niveau 4 "Transformation" et Niveau 4+ "Transition".

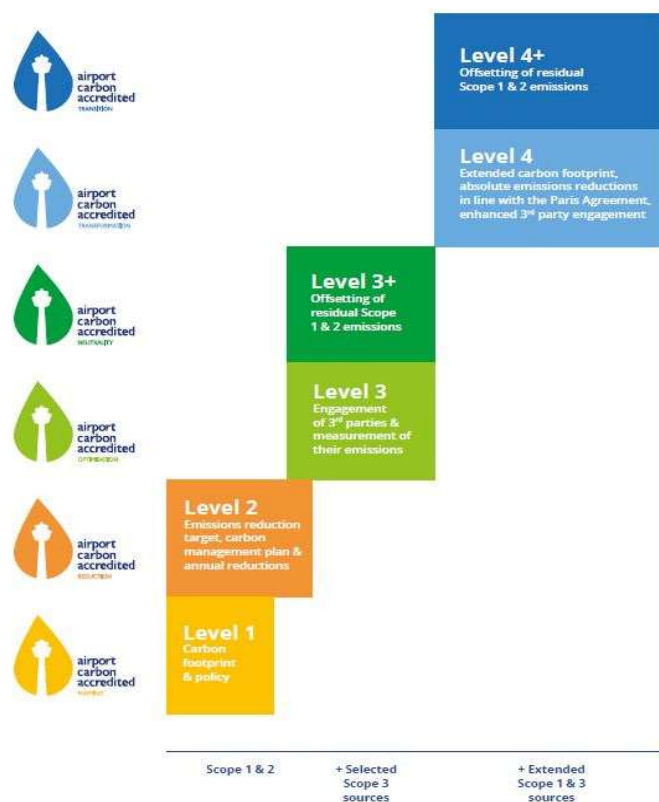


Figure 8 : les six étapes de l'accréditation carbone des aéroports.

⁵⁹ Rapport intermédiaire 2019 - 2020, *Accréditation carbone des aéroports 2020*

Au 31 mars 2021, le programme compte au total 336 aéroports dans le monde ; ils représentent 74 pays et 45,9 % du trafic mondial de passagers aériens. Parmi eux, 112 ont obtenu une accréditation de niveau 1, 96 de niveau 2, 63 de niveau 3 et 60 de niveau 3+ ; cinq aéroports ont déjà obtenu l'accréditation aux niveaux nouvellement introduits : un niveau 4 et pour quatre aéroports une accréditation de niveau 4+.

L'une des exigences essentielles du programme est la vérification par des auditeurs externes et indépendants des données fournies par les aéroports. L'administrateur du programme collecte les données relatives au CO₂ auprès des aéroports participants depuis le lancement du programme, ce qui a permis de quantifier la réduction absolue de CO₂ résultant de la participation au programme.

Les données agrégées sont incluses dans les rapports annuels de l'*Airport Carbon Accreditation*, ce qui garantit la transparence et la précision des rapports sur le carbone. Au niveau 2 du programme et au-delà, les exploitants d'aéroports sont tenus de démontrer les réductions de CO₂ associées aux activités qu'ils contrôlent.

Le rapport annuel, qui est publié à l'automne de chaque année, couvre généralement l'année précédente (c'est-à-dire de la mi-mai à la mi-mai) et présente l'évolution et les réalisations du programme. Toutefois, en raison des conditions extraordinaires auxquelles il a fallu faire face en 2020 en raison de la pandémie de COVID-19, des dispositions spéciales ont été appliquées à tous les aéroports accrédités, notamment la fusion des années 11 et 12 du programme, qui implique la prolongation d'un an de la validité de l'accréditation. Ainsi, la période actuelle de certification de l'*accréditation carbone des aéroports* couvre la période de mai 2019 à mai 2021. Pour cette raison, le dernier rapport publié est considéré comme un rapport intermédiaire qui ne couvre qu'une partie de la période de certification en cours (c'est-à-dire du 16 mai 2019 au 11 décembre 2020). Il ne comprend donc pas les indicateurs clés de performance carbone habituels, mais uniquement des informations concernant les principales réalisations et évolutions, les tendances mondiales et régionales les plus significatives, ainsi que des études de cas soulignant l'engagement des aéroports à poursuivre l'action climatique malgré la crise actuelle. Par conséquent, les tableaux ci-dessous présentent les mesures de performance carbone jusqu'au cycle de rapportage régulier 2018/2019.

Pour des raisons historiques, les aéroports européens restent à l'avant-garde des actions aéroportuaires visant à atténuer et à réduire volontairement leur impact sur le changement climatique. La forte dynamique de croissance se poursuit, puisque le programme compte 167 aéroports. Ces aéroports représentent 69,7 % du trafic aérien européen de passagers.

Tableau 11 : points forts de la réduction des émissions pour la région européenne.

	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
Total global des champs d'application 1 et 2 (ktCO ₂)	51.7	54.6	48.7	140	130	169	156	155	169	158

Total global du champ d'application 3 (ktCO ₂)	360	675	366	30.2	224	551	142	899	1160	1763
--	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	------	------

Tableau 12 : compensation des émissions pour la région européenne.

	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
Compensation des émissions globales, niveau 3+ (tCO ₂)	222 339	252 218	321 170	375 146

Le tableau ci-dessus présente les émissions globales compensées par les aéroports accrédités au niveau 3+ du programme en Europe. Le programme exige que les aéroports de niveau 3+ et 4+ compensent leurs émissions résiduelles des catégories 1 et 2 ainsi que les émissions de la catégorie 3 provenant des voyages d'affaires du personnel.

Tableau 13 : indicateurs de performance clés de l'accréditation carbone des aéroports 2018/2019.

Indicateur	Unité	Période de temps (2018/2019)	Variation absolue par rapport à la moyenne mobile sur 3 ans	Changement (%)
Émissions globales des champs d'application 1 et 2 des aéroports de niveaux 1-3+.	tCO ₂	6 520 255	-322 297	-4.9 %
Émissions de type 1 et 2 par passager dans les aéroports de niveau 1-3+.	kg de CO ₂	1.81	-0.09	-4.3 %
Émissions de type 1 et 2 par unité de trafic des aéroports de niveau 1-3+.	kg de CO ₂	1.55	-0.08	-4.3 %
Indicateur	Unité	Période de temps (2018/2019)	Variation absolue (par rapport à l'année précédente)	Changement (%)

Compensation des émissions globales des champs d'application 1 et 2 et des déplacements professionnels du personnel dans les aéroports de niveau 3+.	tCO _{2e}	710 673	38 673	5.8 %
Indicateur	Unité	Période de temps (2018/2019)	Changement absolu (par rapport à l'année précédente)	Changement (%)
Émissions du champ d'application 3 des aéroports de niveau 3 et 3+.	tCO ₂	60 253 685	6 895 954	12.9 %

Le principal co-bénéfice environnemental immédiat du programme est l'amélioration de la qualité de l'air local.

Les coûts de conception, de développement et de mise en œuvre de l'*Airport Carbon Accreditation* ont été supportés par ACI EUROPE. L'*Airport Carbon Accreditation* est une initiative sans but lucratif, dont les frais de participation sont fixés à un niveau visant à permettre le recouvrement des coûts susmentionnés.

Le champ d'application de l'*Airport Carbon Accreditation*, c'est-à-dire les émissions qu'un opérateur aéroportuaire peut contrôler, guider et influencer, implique qu'à partir du niveau 3, les émissions des avions sont également couvertes. Ainsi, les compagnies aériennes peuvent bénéficier des gains réalisés par des opérations aéroportuaires plus efficaces pour voir leurs émissions diminuer. Ceci est cohérent avec l'ambition du Pacte vert européen, l'inclusion de l'aviation dans le SEQUE-UE et la mise en œuvre de CORSIA, et peut donc soutenir les efforts des compagnies aériennes pour réduire ces émissions.

ÉVALUATION

L'inclusion de cette mesure collective européenne est descriptive à titre d'information, et aucune évaluation quantitative de ses avantages en termes de réduction des émissions de l'aviation n'est fournie dans la section commune de ce plan d'action.

5.2 Feuille de route de l'industrie européenne pour une aviation européenne « nette zéro » : Destination 2050



Destination 2050⁶⁰ est une initiative et une feuille de route élaborée par les parties prenantes du secteur de l'aviation (A4E, ACI EUROPE, ASD, CANSO et ERA) qui présente une voie de décarbonation ambitieuse pour l'aviation européenne.

Ces organisations industrielles européennes s'engagent à collaborer avec toutes les parties prenantes et les décideurs politiques pour atteindre les objectifs climatiques suivants :

- Atteindre des émissions de CO₂ nettes nulles d'ici 2050 pour tous les vols à l'intérieur et au départ de l'Espace économique européen, de la Suisse et du Royaume-Uni. Cela signifie que d'ici à 2050, les émissions de ces vols seront réduites autant que possible, les émissions résiduelles étant retirées de l'atmosphère par le biais d'émissions négatives, obtenues grâce à des puits de carbone naturels (par exemple, les forêts) ou à des technologies spécialisées (capture et stockage du carbone). Pour les vols intra-européens, le zéro net en 2050 pourrait être atteint pratiquement sans recourir à aucune mesure basée sur le marché.
- Réduire les émissions nettes de CO₂ de tous les vols à l'intérieur et au départ de l'Espace économique européen, de la Suisse et du Royaume-Uni de 45 % d'ici à 2030 par rapport au niveau de référence⁶¹. En 2030, les émissions nettes de CO₂ des vols intra-européens seraient réduites de 55 % par rapport aux niveaux de 1990.
- Évaluation de la possibilité de faire de 2019 l'année de pointe pour les émissions absolues de CO₂ des vols à l'intérieur et au départ de l'Espace économique européen, de la Suisse et du Royaume-Uni.

Avec la feuille de route Destination 2050 et à travers ces engagements, le secteur européen de l'aviation contribue à l'Accord de Paris, reconnaissant l'urgence de poursuivre l'objectif de limiter le réchauffement climatique à 1,5°C.

Ce faisant, le secteur européen de l'aviation contribue également de manière efficace à la réalisation des objectifs collectifs du Pacte vert européen et de la neutralité climatique de l'UE.

Cette feuille de route est complémentaire de la trajectoire mondiale *WayPoint 2050* du Groupe d'action sur le transport aérien (ATAG) pour la décarbonation de l'aviation.

ÉVALUATION

L'inclusion de cette mesure collective européenne est descriptive et fournie à titre d'information ; aucune évaluation quantitative de ses avantages en termes de réduction des émissions de l'aviation n'est fournie dans la section commune de ce plan d'action.

5.3 Programme de label environnemental

En réponse aux attentes croissantes des citoyens de mieux comprendre l'empreinte environnementale de leurs vols, les États membres de l'Union européenne, la Suisse, la Norvège, le Lichtenstein, le Royaume-Uni et la Commission européenne ont mandaté l'AESA pour explorer les options de labellisation environnementale sur une base volontaire

⁶⁰ www.destination2050.eu

⁶¹ Un scénario hypothétique de "non-action" dans lequel les émissions de CO₂ sont estimées sur la base de l'hypothèse que les avions déployés jusqu'en 2050 ont le même rendement énergétique qu'en 2018.

pour les entreprises du secteur aéronautique. Les propositions seront alignées sur le Pacte vert européen, établi en décembre 2019 et qui s'efforce de faire de l'Europe le premier continent climatiquement neutre. L'objectif global du programme de labellisation environnementale de l'AESA est d'accroître la sensibilisation et la transparence et, en fin de compte, d'aider les passagers et les autres acteurs à faire des choix durables en connaissance de cause en fournissant des informations harmonisées, fiables et facilement compréhensibles sur les incidences environnementales de leurs choix, coordonnées au sein des États membres de l'AESA. Il devrait permettre de récompenser les transporteurs aériens qui font des efforts pour réduire leur empreinte environnementale. L'initiative du label couvre un large éventail de composantes du secteur de l'aviation, notamment les avions, les compagnies aériennes et les vols.

Dans la phase de validation du concept, l'AESA a élaboré des critères techniques potentiels et des prototypes de label pour la technologie et la conception des aéronefs ainsi que pour les opérations des compagnies aériennes, afin d'informer les citoyens européens sur les performances environnementales des systèmes d'aviation. Ces informations seraient fournies sur une base volontaire par les opérateurs aériens qui ont choisi d'utiliser le label. Différents scénarios ont été élaborés et testés afin d'examiner comment les citoyens pourraient interagir avec les informations de labellisation, par exemple à bord de l'avion et/ou pendant le processus de réservation, ainsi que sur un site web dédié et une application pour smartphone. Divers indicateurs environnementaux clés ont été examinés, notamment les émissions absolues de CO₂ et les émissions moyennes de CO₂ par passager-kilomètre des compagnies aériennes.

La phase pilote couvrant la période 2021-2023 élargira encore la portée des indicateurs et prendra en compte les considérations liées au cycle de vie, par exemple pour couvrir des aspects allant de l'extraction des matières premières au recyclage et à l'élimination des déchets. La phase pilote prévoit également une évaluation de l'impact du label.

Bien que les réductions potentielles d'émissions de CO₂ générées par un tel label n'aient pas été quantifiées à ce stade, il est proposé de tenir l'OACI informée des développements futurs concernant l'initiative européenne de labellisation environnementale, y compris des économies potentielles d'émissions de CO₂.

ÉVALUATION

L'inclusion de cette mesure collective européenne est descriptive et fournie à titre d'information ; aucune évaluation quantitative de ses avantages en termes de réduction des émissions de l'aviation n'est fournie dans la section commune de ce plan d'action.

5.4 Projets multilatéraux de renforcement des capacités

L'Union européenne s'est fortement engagée à assurer un transport aérien durable en Europe et dans le monde. Dans cette optique, l'UE lance un certain nombre d'initiatives dans différents domaines pour aider les États partenaires à respecter les engagements environnementaux communs.

5.4.1 Partenariats de l'AESA pour le renforcement des capacités

L'AESA a été sélectionnée comme agence de mise en œuvre pour plusieurs de ces initiatives, notamment la **coopération entre l'UE et l'Asie du Sud-Est sur l'atténuation de l'impact de l'aviation civile sur le changement climatique** (EU-SEA CCA), lancée en 2019, et un **projet de renforcement des capacités pour**

L'atténuation des émissions de CO₂ dans la région Afrique et Caraïbes, lancé en 2020.

L'objectif général de ces projets⁶² est de renforcer le partenariat entre l'UE et les États partenaires dans les domaines de la protection de l'environnement de l'aviation civile et du changement climatique, et d'obtenir des résultats durables qui vont au-delà de la durée des projets. Les objectifs spécifiques des deux projets sont de développer ou de soutenir les dialogues politiques existants avec les États partenaires sur l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile, de contribuer au processus de préparation à CORSIA des États partenaires, ainsi que de mettre en œuvre CORSIA conformément au calendrier international convenu, notamment en envisageant de rejoindre la phase volontaire à partir de 2021 ou le plus tôt possible. En plus du soutien lié à CORSIA, ces projets aident les États partenaires à développer et à mettre à jour les plans d'action nationaux pour réduire les émissions de CO₂ de l'aviation civile, ainsi qu'à développer des outils de gestion des données d'émission pour soutenir la mise en œuvre des plans d'action nationaux et de CORSIA.

En janvier 2021, la coopération entre l'UE et l'Asie du Sud-Est (EU-SEA CCCA) avait permis d'améliorer l'état de préparation technique des 10 États partenaires de la région, ainsi que les capacités de leurs exploitants d'avions à se conformer aux exigences du CORSIA. Cinq États avaient mis en œuvre des solutions de gestion des données d'émission pour générer des rapports d'émissions CORSIA, et huit États avaient soumis avec succès leurs rapports d'émissions CO₂ CORSIA de 2019 à l'OACI ; 4 organismes de vérification CORSIA avaient été accrédités dans la région, avec un soutien dédié à leurs organismes nationaux d'accréditation respectifs pour finaliser le processus d'accréditation.

En outre, l'AESA met en œuvre, au nom de la Commission, des projets de coopération technique dans le domaine de l'aviation en Asie, en Amérique latine et dans les Caraïbes, qui comportent un volet environnemental orienté vers la coopération et l'amélioration des normes environnementales.

Ces projets ont permis de soutenir la coopération régionale technique en matière de renforcement des capacités des États partenaires en ce qui concerne les normes environnementales. En ce qui concerne CORSIA, un soutien est fourni pour le développement ou l'amélioration des plans d'action des États, ainsi que pour la mise en œuvre du volet MRV de CORSIA. Les projets ont également permis de coopérer avec les parties prenantes clés au niveau national et régional (autorités réglementaires, exploitants d'avions, organismes nationaux d'accréditation, organismes de vérification), évaluant ainsi le niveau de préparation en vue de la mise en œuvre des plans d'action nationaux et de CORSIA à plus grande échelle dans les régions respectives, et à identifier les besoins de soutien supplémentaire dans ce domaine.

5.4.2 OACI - Projet d'assistance de l'Union européenne

Le projet d'assistance intitulé « *Capacity Building on CO₂ mitigation from International Aviation* » a été lancé en 2013 grâce à un financement de l'Union européenne, tandis que la mise en œuvre a été assurée par le service Environnement de l'OACI.

Quatorze États d'Afrique et des Caraïbes ont été sélectionnés pour participer à ce programme quinquennal, mis en œuvre avec succès par l'OACI de 2014 à 2019, atteignant tous les résultats attendus et dépassant les objectifs initiaux.

⁶² <https://www.easa.europa.eu/domains/international-cooperation/easa-by-country/map#group-easa-extra>

Le premier objectif du projet OACI-UE était de créer des capacités nationales pour le développement de plans d'action. L'OACI a organisé des séminaires de formation spécifiques, a dirigé la création d'équipes chargées des plans d'action nationaux dans les États sélectionnés et a aidé directement chaque autorité de l'aviation civile à préparer ses plans d'action.

En juin 2016, les 14 États sélectionnés avaient élaboré des plans d'action entièrement conformes aux lignes directrices de l'OACI, comprenant des données historiques solides et un scénario de référence fiable. Au total, 218 mesures visant à réduire la consommation de carburant et les émissions de CO₂ ont été proposées dans les plans d'action, notamment celles liées à la technologie des aéronefs, aux mesures opérationnelles et aux carburants d'aviation durables.

Quatre mesures d'atténuation pilotes et cinq études de faisabilité ont été réalisées grâce au financement du projet dans les États bénéficiaires. En outre, les États bénéficiaires ont mis en œuvre 90 mesures d'atténuation dans le cadre du projet, qui avaient été incluses dans leurs plans d'action⁶³.

Grâce au soutien apporté par le projet OACI-UE, l'OACI a réussi à aider les États bénéficiaires à transformer la culture organisationnelle en faveur de la protection de l'environnement dans le domaine de l'aviation, par la création d'unités environnementales dotées d'un personnel spécialisé au sein des autorités de l'aviation civile, et par la décision volontaire de sept États sélectionnés dans le cadre du projet d'adhérer dès le départ au système de compensation et de réduction du carbone pour l'aviation internationale (CORSIA) de l'OACI.

La phase deux de ce projet est actuellement mise en œuvre par l'OACI et l'AESA. Elle couvre dix États africains : Bénin, Botswana, Cap-Vert, Comores, Côte d'Ivoire, Madagascar, Mali, Rwanda, Sénégal et Zimbabwe. Le projet se déroulera entre 2020 et 2023.

ÉVALUATION

L'inclusion de cette mesure collective européenne est descriptive et fournie à titre d'information ; aucune évaluation quantitative de ses avantages en termes de réduction des émissions de l'aviation n'est fournie dans la section commune de ce plan d'action.



⁶³ https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO-EU_Project_FinalReport.pdf

5.5. Projets de recherche et d'innovation des aéroports verts

Dans le cadre des actions de recherche et d'innovation de l'UE à l'appui du Pacte vert européen, financées par le programme-cadre Horizon 2020, la Commission européenne a lancé en 2020 l'appel d'offres : **Les aéroports et ports verts en tant que plateformes multimodales pour une mobilité durable et intelligente.**

L'un des engagements clairs du Pacte vert européen est que « les transports doivent devenir radicalement moins polluants », soulignant en particulier le besoin urgent de réduire les émissions de gaz à effet de serre dans les transports aériens et maritimes.

Dans ce contexte, les aéroports jouent un rôle majeur, à la fois en tant que points d'interconnexion dans les réseaux de transport aérien, mais aussi en tant que nœuds multimodaux majeurs, plateformes logistiques et sites commerciaux, en liaison avec d'autres modes de transport.

À ce titre, les aéroports verts, en tant que plateformes multimodales dans l'ère post-Covid-19 pour une mobilité durable et intelligente, ont un grand potentiel pour contribuer immédiatement à la transition vers une aviation, un transport maritime et une mobilité multimodale neutres en termes de GES dès 2025.

Le champ d'application de ce programme de recherche porte donc sur des concepts et des solutions novateurs pour les aéroports et les ports, afin de réduire d'urgence les émissions de GES dues au transport et d'accroître leur contribution à l'atténuation du changement climatique.

Résultats escomptés

Les projets se traduiront par des démonstrations à grande échelle de concepts d'aéroports verts, en valorisant l'utilisation d'énergie à faible émission (électrification ou carburants d'aviation durables) pour les avions, les aéroports, les autres véhicules connectés et automatisés accédant ou opérant dans les aéroports (par exemple, les véhicules routiers, le matériel roulant, les drones), ainsi que pour les transports publics et le covoiturage, avec des stations de recharge et le recours à des incitations.

Ils mettront également l'accent sur le développement des SAF pour leur utilisation dans les aéroports.

Les futures mises à jour du plan d'action fourniront de plus amples informations sur les avantages de la mise en œuvre de cette mesure.

ÉVALUATION

L'inclusion de cette mesure collective européenne est descriptive et fournie à titre d'information ; aucune évaluation quantitative de ses avantages en termes de réduction des émissions de l'aviation n'est fournie dans la section commune de ce plan d'action.



6. AVANTAGES SUPPLÉMENTAIRES POUR LES SECTEURS DOMESTIQUES



Bien que les avantages de toutes les mesures collectives européennes incluses dans ce plan d'action soient axés sur l'aviation internationale, elles sont également applicables à l'aviation domestique (à l'exception de CORSIA) et apporteront donc des avantages supplémentaires en termes de réduction des émissions de CO₂ dans le trafic aérien domestique européen.

En outre, un certain nombre de ces mesures prises collectivement en Europe et contenues dans ce plan d'action offrent également des avantages supplémentaires pour les secteurs domestiques au-delà des économies de CO₂. Ces mesures sont résumées ci-dessous.

6.1 Accréditation ACI Airport Carbon

L'accréditation carbone des aéroports est mentionnée parmi les mesures contenues dans ce plan d'action visant à encourager et à permettre aux aéroports de mettre en œuvre les meilleures pratiques en matière de gestion du carbone et de l'énergie.

Si son principal objectif est de soutenir les actions des aéroports visant à atténuer et à réduire volontairement leur impact sur le changement climatique, le principal co-bénéfice environnemental immédiat du programme est l'amélioration de la qualité de l'air local liée à la diminution des émissions autres que le CO₂ résultant de la réduction de la consommation de carburant qu'un opérateur aéroportuaire peut contrôler, guider et influencer.

6.2 Initiative ReFuelEU pour l'aviation

Grâce à l'utilisation à grande échelle des SAF, les émissions des autres polluants ayant un impact sur la qualité de l'air local et d'autres effets non-CO₂ sur le climat peuvent également être réduites, générant de nombreux avantages supplémentaires au-delà des réductions d'émissions de CO₂.

Ainsi, les SAF présentent l'avantage supplémentaire de réduire les émissions de polluants atmosphériques autour des aéroports émis pendant les phases de décollage et d'atterrissage, sous forme d'émissions de particules non volatiles (nvPM) jusqu'à 90 % et de soufre (SO_x) jusqu'à 100 %, par rapport au kérosène fossile⁶⁴.

La préservation de la qualité des ressources naturelles peut être considérée comme un avantage supplémentaire de toute mesure politique visant à accroître la durabilité de l'aviation en stimulant le marché des SAF, tout en accordant une attention particulière à l'intégrité environnementale globale des SAF, comme c'est le cas de l'initiative ReFuelEU.

Enfin, la production de SAF, notamment à partir de déchets biogéniques, pourrait contribuer et inciter à une gestion plus efficace des déchets dans l'UE.

6.3 Projets de recherche et développement des SAF

Un projet de recherche européen financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'UE évalue actuellement, entre autres objectifs, les avantages supplémentaires pour les secteurs nationaux de l'utilisation de carburants d'aviation durables, au-delà de ses avantages climatiques.

AVIATOR PROJECT ⁶⁵ : Le projet « *Assessing aviation emission Impact on local Air quality at airports : Towards Regulation* » vise à mieux comprendre les impacts de l'aviation sur la qualité de l'air, en développant de nouveaux outils et une réglementation, et en établissant des liens avec la communauté de la santé, fournissant ainsi des données impartiales à la société.

Le projet mesurera, quantifiera et caractérisera les émissions de polluants atmosphériques provenant des moteurs d'aéronefs dans des conditions de stationnement (avec APU en fonctionnement), de roulage, d'approche, de décollage et de montée initiale, avec une référence spécifique aux PUF, NO_x, SO_x et COV dans différentes conditions climatiques.

Il a notamment pour objectif de mesurer les émissions des moteurs d'avion utilisant des carburants d'aviation durables disponibles dans le commerce, afin d'étudier leur impact sur la formation et l'évolution des particules totales dans le panache ainsi que dans l'environnement aéroportuaire au sens large.

Il effectuera des mesures de la qualité de l'air dans et autour de trois aéroports internationaux : Madrid-Barajas, Zurich et Copenhague, afin de valider les modèles développés dans différentes conditions opérationnelles et climatiques et de développer un réseau de capteurs à faible coût et à faible intervention pour fournir des données de routine sur la variabilité temporelle et spatiale des principaux polluants, notamment les PUF, les particules totales, le NO_x et le SO_x.

Avec 17 partenaires de 7 pays impliqués, le projet a commencé en juin 2019 et il devrait se terminer en 2022.

6.4 L'initiative Ciel unique européen de l'UE et SESAR

⁶⁴ [Rapport environnemental 2016 de l'OACI](#), chapitre 4, page 162, figure 4.

⁶⁵ <https://aviatorproject.eu>

L'initiative Ciel unique européen de l'Union européenne et son programme SESAR (*programme de recherche sur la gestion du trafic aérien dans le ciel unique européen*) visent à déployer en Europe une infrastructure de gestion du trafic aérien moderne, interopérable et performante, comme cela a été décrit en détail ci-dessus dans le présent plan d'action, l'une des principales mesures opérationnelles visant à réduire les émissions de CO₂.

Mais les résultats environnementaux de la mise en œuvre de SESAR vont bien au-delà de la réduction de la consommation de carburant, et les principaux résultats du programme SESAR ont également un potentiel important pour atténuer les **émissions autres que le CO₂ et les impacts sonores**.

Il convient de noter que, bien qu'aucun objectif n'ait encore été fixé pour les émissions hors CO₂ (au niveau local ou mondial) et les incidences sonores, le plan directeur ATM exige que chaque solution SESAR ayant une incidence sur ces aspects environnementaux les évalue dans la mesure du possible et dans la limite des ressources disponibles.

Dans ce contexte, par exemple, la *plate-forme de modélisation intégrée du bruit et des émissions des aéronefs* d'EUROCONTROL, [IMPACT](#), qui fournit des fichiers de contours de bruit, des comptages de surface et de population en s'appuyant sur la base de données de population de l'Agence européenne pour l'environnement, des estimations de la consommation de carburant et des émissions pour une large gamme de polluants, ainsi que des inventaires géoréférencés des émissions dans les zones d'atterrissage et de décollage, est l'un des modèles recommandés pour réaliser des évaluations d'impact environnemental dans SESAR.

6.5. Projets de recherche et d'innovation des aéroports verts

Les projets de recherche et d'innovation des aéroports verts de la Commission européenne, mentionnés dans ce plan d'action parmi les « autres mesures » communément mises en œuvre en Europe, ont des objectifs clés pour atteindre des bénéfices supplémentaires importants au-delà des réductions d'émissions de CO₂, parmi lesquels :

Économie circulaire :

- Développer le cadre bâti (construction/démolition) en utilisant des matériaux et des processus plus respectueux de l'environnement et intégrer ces améliorations dans les processus d'achat afin de réduire durablement l'empreinte écologique.
- Promouvoir la conversion des déchets en combustibles durables.
- Aborder l'évolution durable des aéroports, également dans le contexte de l'économie circulaire (par exemple, les activités liées au déclassement des avions et à la collecte et au tri des déchets recyclables), en considérant les aspects institutionnels et de gouvernance, la propriété, la réglementation, les indicateurs de performance et l'équilibre des forces entre les régulateurs, les compagnies aériennes et les opérateurs aéroportuaires.
- Examiner la faisabilité d'un instrument basé sur le marché pour prévenir/réduire les pertes et les déchets alimentaires (PDA) et pour valoriser une approche commerciale de la transformation des PDA en nouveaux produits biosourcés. Cela inclut les méthodologies de mesure et de suivi des pertes et déchets alimentaires et la cartographie ultérieure du volume total de déchets alimentaires en jeu dans l'aéroport considéré.

Biodiversité :

- Renforcer la biodiversité, la planification et l'utilisation des terres vertes, ainsi que l'économie circulaire (par exemple, la réparation, la réutilisation et le recyclage des bâtiments et des déchets, dans le cadre des concepts zéro déchet).

Incidences autres que le CO₂ :

- Prise en compte de la qualité de l'air (intérieur, extérieur, y compris la décontamination des agents pathogènes microbiologiques) et du compromis sur le bruit.
- Évaluer les conditions-cadres non technologiques, telles que les mécanismes du marché et les actions réglementaires potentielles à court et moyen terme, qui peuvent fournir des incitations financières/opérationnelles et une sécurité juridique pour la mise en œuvre de solutions à faibles émissions.
- Développer et promouvoir de nouveaux dispositifs de gouvernance multi-acteurs qui prennent en compte les interactions entre toutes les parties prenantes liées aux aéroports, y compris les autorités, les propriétaires et les exploitants d'aéronefs, les communautés locales, les organisations de la société civile et les départements de planification des villes, des régions ou des pays.

ANNEXE A

RESULTATS DETAILED POUR LES SCENARIOS DE LA CEAC DE LA SECTION A

1. SCÉNARIO DE BASE

a) *Prévision de base pour le trafic international au départ des aéroports de la CEAC*

Année	Trafic passagers (mouvements IFR) (millions)	Passagers-kilomètres-payants ⁶⁶ RPK (milliards)	Trafic tout-cargo (mouvements IFR) (millions)	Tonnes-kilomètres de fret transportées ⁶⁷ FTKT (milliards)	Revenu total Tonne Kilomètres ⁶⁸ RTK (milliards)
2010	4.56	1 114	0.198	45.4	156.8
2019	5.95	1 856	0.203	49.0	234.6
2030	5.98	1 993	0.348	63.8	263.1
2040	7.22	2 446	0.450	79.4	324.0
2050	8.07	2 745	0.572	101.6	376.1

Il convient de noter que le scénario de trafic indiqué dans le tableau est supposé à la fois pour le scénario de base et pour les mesures d'atténuation mises en œuvre.

b) *Prévision de la consommation de carburant et des émissions de CO₂ pour le scénario de base*

Année	Consommation de carburant (10 ⁹ kg)	Émissions de CO ₂ (10 ⁹ kg)	Efficacité énergétique (kg/RPK)	Efficacité énergétique (kg/RTK)
2010	36.95	116.78	0.0332	0.332
2019	52.01	164.35	0.0280	0.280
2030	50.72	160.29	0.0252	0.252
2040	62.38	197.13	0.0252	0.252
2050	69.42	219.35	0.0250	0.250

⁶⁶ Calculé sur la base de la distance orthodromique (GCD) entre les aéroports, pour 97% du trafic passagers pour les années de prévision.

⁶⁷ Comprend le transport de passagers et de marchandises (sur les vols tout-cargo et les vols de passagers).

⁶⁸ Une valeur de 100 kg a été utilisée comme masse moyenne d'un passager, bagages compris (réf. : OACI).

Pour des raisons de disponibilité des données, les résultats présentés dans ce tableau n'incluent pas le trafic de fret.

2. SCÉNARIO AVEC MISE EN ŒUVRE DES MESURES D'ATTÉNUATION

A) Effets des améliorations technologiques des aéronefs après 2019

a) Consommation de carburant et émissions de CO₂ du trafic international de passagers au départ des aéroports de la CEAC, en tenant compte des améliorations technologiques apportées aux avions après 2019

Année	Consommation de carburant (10 ⁹ kg)	Émissions de CO ₂ (10 ⁹ kg)	Émissions de CO ₂ e sur le cycle de vie (10 ⁹ kg)	Efficacité énergétique (kg/RPK)	Efficacité énergétique (kg/RTK)
2010	36.95	116.78	143.38	0.0332	0.332
2019	52.01	164.35	201.80	0.0280	0.280
2030	49.37	156.00	191.54	0.0232	0.232
2040	56.74	179.28	220.13	0.0217	0.217
2050	59.09	186.72	229.26	0.0202	0.202

Pour des raisons de disponibilité des données, les résultats présentés dans ce tableau n'incluent pas le trafic de fret.

b) Amélioration annuelle moyenne du rendement énergétique pour le scénario des mesures mises en œuvre (nouvelle technologie d'aéronef uniquement)

Période	Amélioration annuelle moyenne du rendement énergétique (%)
2010-2019	-1.86%
2019-2030	-1.22%
2030-2040	-0.65%
2040-2050	-0.74%

B) Effets des améliorations technologiques des aéronefs et de l'ATM après 2019

a) Consommation de carburant et émissions de CO₂ du trafic international de passagers au départ des aéroports de la CEAC, avec des améliorations de la technologie des avions et de la gestion du trafic aérien après 2019

Année	Consommation de carburant (10 ⁹ kg)	Émissions de CO ₂ (10 ⁹ kg)	Émissions de CO ₂ e sur le cycle de vie (10 ⁹ kg)	Efficacité énergétique (kg/RPK)	Efficacité énergétique (kg/RTK)
2010	36.95	116.78	143.38	0.0332	0.332

2019	52.01	164.35	201.80	0.0280	0.280
2030	46.16	145.86	179.09	0.0217	0.217
2040	51.06	161.35	198.12	0.0196	0.196
2050	53.18	168.05	206.33	0.0182	0.182

Pour des raisons de disponibilité des données, les résultats présentés dans ce tableau n'incluent pas le trafic de fret.

b) Amélioration annuelle moyenne du rendement énergétique pour le scénario avec mesures d'atténuation mises en œuvre (nouvelles technologies des aéronefs et améliorations de la gestion du trafic aérien)

Période	Amélioration annuelle moyenne du rendement énergétique (%)
2010-2019	-1.86%
2019-2030	-1.82%
2030-2040	-1.03%
2040-2050	-0.74%

c) Prévisions d'émissions de CO₂ e équivalentes (sur le cycle de vie) pour les scénarios décrits dans cette section commune

Année	Émissions de CO ₂ e sur le cycle de vie (10 ⁹ kg)			Amélioration en % par les mesures mises en œuvre (champ d'application complet)
	Scénario de base	Scénario avec mesures mises en œuvre		
		Améliorations technologiques des aéronefs	Améliorations technologiques des aéronefs et de la gestion du trafic aérien	
2010	143.38			NA
2019	201.80			NA
2030	196.8	191.5	179.1	-9 %
2040	242.0	220.1	198.1	-18 %
2050	269.3	229.3	206.3	-23 %

Pour des raisons de disponibilité des données, les résultats présentés dans ce tableau n'incluent pas le trafic de fret.
Il convient de noter que la consommation de carburant est supposée ne pas être affectée par l'utilisation de carburants d'aviation durables.

ANNEXE B

NOTE SUR LES MÉTHODES DE COMPTABILISATION DES ÉMISSIONS DE CO₂ ATTRIBUÉES AUX VOLS INTERNATIONAUX

1. Contexte

La présente note contient des recommandations sur les méthodologies de comptabilisation des émissions de CO₂, afin d'orienter l'élaboration d'une approche européenne commune à suivre par les États de la CEAC, en vue de la soumission à l'OACI de leurs plans d'action nationaux actualisés pour la réduction des émissions de CO₂.

Les orientations de la CEAC sont établies sur la base du document OACI 9988 *Guidance on the Development of States' Action Plans on CO₂ Emissions Reduction Activities* (3^{ème} édition). L'un de ses objectifs est de définir une approche commune pour comptabiliser les émissions de CO₂ des vols internationaux : deux méthodes différentes sont proposées pour la comptabilisation du CO₂, à savoir l'OACI et le GIEC. En raison de leurs définitions intrinsèques, on s'attend à ce que ces deux approches différentes induisent à la fois des différences de comptabilisation et des problèmes pratiques, et en outre, deux façons de cibler les activités de réduction des émissions de CO₂, et de définir les plans d'action.

Comme l'objectif de la définition de la section commune des orientations de la CEAC consiste à déterminer une approche commune pour toutes les activités prévues, y compris la comptabilisation et la surveillance du CO₂, le groupe de travail de la CEAC a dû évaluer les détails de chaque méthode et proposer des recommandations dans la présente note.

2. Les méthodes comptables

Le document Doc 9988 de l'OACI, 3^{ème} édition, définit les deux méthodes de comptabilisation du CO₂ (§3.2) :

- a) OACI : chaque État déclare les émissions de CO₂ provenant des vols internationaux effectués par des aéronefs immatriculés dans l'État (État d'immatriculation).
- b) GIEC : chaque État déclare les émissions de CO₂ des vols internationaux au départ de tous les aéroports situés dans l'État ou ses territoires (État d'origine).

Les vols internationaux concernent les mouvements d'avions d'un pays vers un autre pays. Chaque méthode détermine l'affectation du pays du mouvement.

Method	ICAO	IPCC
Definition	The ICAO methodology is based on the State of nationality of the airline, and defines an “international” flight as one undertaken to or from an airport located in a State other than the airline’s home State, i.e. each State reports only on the international activity of its own commercial air-carriers.	The IPCC methodology defines international aviation as flights departing from one country and arriving in another, i.e. each State report to IPCCs in respect of all flights departing from their territory, irrespective of the nationality of the operator.
Use in projects	CORSIA/ETS (partially)	IPCC EAER UNFCCC

Comparaison : distance parcourue et nombre d'opérations

La comparaison du nombre d'opérations et de la distance parcourue en 2019, agrégés au niveau de la CEAC ou de l'État, donne une bonne indication des différences possibles pour la comptabilisation du CO₂.

Au niveau de la zone CEAC, la différence relative entre les méthodes de l'OACI et du GIEC est de -0,66 % pour le nombre d'opérations et de + 0,26 % pour la distance parcourue (Source EUROCONTROL/CRCO). Ceci s'explique par le fait que les mouvements des opérateurs enregistrés en dehors des Etats membres de la zone CEAC ne sont pas comptabilisés.

Le tableau ci-après énumère les pays pour lesquels les différences relatives de comptabilisation du nombre d'opérations ou de la distance parcourue sont supérieures à 50 % ou inférieures à -50 % (Source EUROCONTROL/CRCO).

DEPARTURE COUNTRY	(ICAO – IPCC) % difference number of operations	(ICAO – IPCC) % difference number of flown distance
ALBANIA	-71.04%	-75.34%
ARMENIA	-80.76%	-84.64%
AUSTRIA	114.51%	104.81%
BOSNIA AND HERZEGOVINA	-83.45%	-80.73%
CROATIA	-52.08%	-65.54%
CYPRUS	-84.06%	-92.75%
DENMARK	-68.07%	-53.81%
ESTONIA	-67.93%	-53.48%
FAROE ISLANDS	-100.00%	-100.00%
GEORGIA	-68.62%	-66.45%
GREECE	-58.26%	-65.83%
HUNGARY	213.95%	245.36%
IRELAND	509.31%	478.00%
ITALY	-71.45%	-63.90%
LIECHTENSTEIN	2100.00%	8572.91%
LITHUANIA	-78.83%	-65.95%
LUXEMBOURG	55.29%	54.05%
NORTH MACEDONIA	-98.69%	-98.90%
MALTA	97.00%	125.78%
MONACO	100.17%	708.97%
SLOVAKIA	-73.46%	-72.30%

Le tableau précédent met en évidence les différences relatives possibles pour une approche pays par pays :

- Différences élevées pour les pays d'origine à faible coût (Irlande, Autriche, Hongrie) car tous les mouvements dépassent la capacité de départ : nb opérations OACI >> nb opérations GIEC
 - Exemple : Irlande (Ryanair), Autriche (EasyJet), Hongrie (Wizzair)
- Différences élevées pour les pays d'implantation des jets d'affaires : nb opérations OACI > nb opérations GIEC

- Exemple : Monaco, Malte, Liechtenstein
- Différence pour les pays avec beaucoup de départs à bas prix : nb opérations OACI < nb opérations GIEC
 - Exemple : Grèce, Italie

3. Impact sur les définitions du plan d'action

Le choix de la méthode implique deux approches sensiblement différentes. L'approche de l'OACI mettrait l'accent sur la capacité d'un État à gérer l'évolution des émissions de ses seuls « transporteurs nationaux ». Un État ayant une activité aérienne importante exploitée par des transporteurs autres que les transporteurs nationaux ne serait donc pas en mesure de refléter dans le plan sa politique éventuelle sur l'évolution de son activité aérienne globale. En outre, si les transporteurs nationaux ont une activité aérienne importante entre des pays tiers, cela deviendrait une « responsabilité » de l'État en termes de plans de réduction des émissions.

La méthode du GIEC, au contraire, met l'accent sur la gestion des réductions d'émissions pour l'activité aéronautique liée à l'État, en intégrant la politique de l'État en termes d'évolution et d'importance de l'activité aéronautique pour lui et les plans nationaux de réduction des émissions (par exemple, la promotion des opérations avec des avions plus économes en carburant).

Permettre aux États d'utiliser la méthode de l'OACI ou du GIEC présente le risque d'une sous-estimation pour certains et d'un double comptage pour d'autres en cas de consolidation des plans d'action des États.

Il est également intéressant de noter que la méthode du GIEC permet en fait de consolider et de corréliser les données avec le rapport CORSIA. En effet, dans le cadre de CORSIA, les émissions sont déclarées par les États, agrégées au niveau des paires de pays, sans aucune information sur l'opérateur. Si tous les États déclaraient des plans d'action basés sur l'approche du GIEC et agrégés au niveau des paires de pays, ces informations pourraient être consolidées et corrélées avec celles déclarées par CORSIA. La méthode de l'OACI pour les plans d'action ne le permettrait pas.

Impact sur la définition de base (CEAC)

Le choix de la méthode OACI/GIEC affecte également la définition et l'estimation des émissions de CO₂ des vols internationaux au niveau de la CEAC.

L'ensemble de données de l'année de base et l'ensemble de données prévisionnelles qu'EUROCONTROL doit définir et évaluer (au niveau de la CEAC) sont basés sur le GIEC. La méthode de l'OACI ne peut être utilisée pour ces évaluations.

LISTE DES ABREVIATIONS

AAT : Outil d'affectation des aéronefs
ACARE : Conseil consultatif pour la recherche et l'innovation en Europe
ACA : Accréditation carbone des aéroports
ACI : Conseil international des aéroports
AIRE : L'initiative d'interopérabilité atlantique pour la réduction des émissions
APER TG : Groupe de travail sur les plans d'action pour la réduction des émissions du groupe de travail CEAC/UE sur l'aviation et l'environnement (EAEG)
ATM : Gestion du trafic aérien
CAEP : Comité pour la protection de l'environnement en aviation
GNC : Croissance neutre en carbone
CORSIA : Système de compensation et de réduction du carbone pour l'aviation internationale
EAER : Rapport environnemental de l'aviation européenne
AESA : Agence européenne de la sécurité aérienne
CE : Commission européenne
CEAC : Conférence européenne de l'aviation civile
EEE - Espace économique européen
AELE : Association européenne de libre-échange
UE : Union européenne
SEQUE : le système d'échange de quotas d'émission de l'UE
GES : Gaz à effet de serre
OACI : Organisation de l'aviation civile internationale
IFR : Règles de vol aux instruments
GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
DPI : Droit de propriété intellectuelle
JU : Joint Undertaking (entreprise commune)
MBM : Mesure basée sur le marché
MT : Million de tonnes
PRISME : Référentiel paneuropéen d'informations pour la gestion de l'EATM
RED : Directive sur les énergies renouvelables
RPK : Kilomètre passager payant
RTK : Tonne Kilomètre Revenu
RDT : Recherche et développement technologique
SAF : Carburants d'aviation durables
SES : Ciel unique européen
SESAR : Recherche sur la gestion du trafic aérien dans le ciel unique européen
Entreprise commune SESAR : Entreprise commune de recherche sur l'ATM dans le ciel unique européen
SESAR R&D : Recherche et développement de SESAR
PME : Petites et moyennes entreprises

- FIN -

SECTION 2 - Actions nationales menées par la France

Résumé

Introduction

Partie 1 : Les enjeux de la décarbonation du transport aérien

1. La contribution du secteur aérien au réchauffement climatique
2. Les engagements récents du secteur

Partie 2 : Soutenir le renouvellement des flottes et les progrès technologiques

1. Accélérer et optimiser le renouvellement des flottes
2. Soutenir la recherche dans le domaine aéronautique
3. Favoriser l'apparition d'aéronefs bas carbone
 - 3.1 L'avion ultra sobre
 - 3.2 Les nouveaux combustibles bas carbone

Partie 3 : Promouvoir le développement et l'utilisation des carburants d'aviation durables (SAF)

1. Les carburants d'aviation durables : principal levier de décarbonation
2. Stimuler le développement de la filière en France
3. A l'international, le développement de la filière des SAF est reconnu comme une nécessité
 - 3.1 ReFuel EU Aviation : un cadre réglementaire européen en cours de construction
 - 3.2 L'Alliance européenne industrielle pour les carburants renouvelables et bas carbone de l'aérien et du maritime
 - 3.3 L'OACI reconnaît l'importance des SAF pour la décarbonation du secteur aérien
4. La recherche se poursuit sur les effets non-CO2

Partie 4 : Améliorer la gestion du trafic aérien et de l'exploitation des aéronefs

1. En Europe : l'initiative Ciel unique européen de l'UE et SESAR
2. En France : favoriser une meilleure gestion de l'espace aérien et optimiser les trajectoires
 - 2.1 Participer activement au FABEC
 - 2.2 Evolutions de structure de l'espace aérien : Free route, concept FUA et dynamique
 - 2.3 Amélioration de la disponibilité et de la gestion des données
 - 2.4 Déployer les procédures d'approche en descente continue
3. Réduire les émissions de l'aviation au sol
 - 3.1 Optimiser le roulage des aéronefs au sol
 - 3.2 L'électrification des tarmacs

Partie 5 : Renforcer les mesures fondées sur l'économie et le marché

1. Régime de compensation et de réduction des émissions de CO2 pour l'aviation internationale (CORSIA)
2. Le système européen d'échange de quotas d'émission : régime SEQE-UE
3. La taxation du kérosène
4. Limiter les émissions du transport aérien et favoriser l'intermodalité entre le train et l'avion
 - 4.1 La loi « Climat et résilience »
 - 4.1 La révision du règlement RTE-T

Glossaire

Résumé

En France, la Stratégie nationale bas-carbone 2^{ème} édition (SNBC 2), adoptée en 2020, visait pour le secteur des transports une réduction de 28 % des émissions en 2030 par rapport à 2015 et une décarbonation quasi complète à l'horizon 2050, une part de carburants fossiles restant encore utilisée à cet horizon pour le transport aérien et les soutes maritimes internationales. Le transport aérien fait, dans la SNBC 2, l'objet d'un budget sectoriel, limité aux trajets intérieurs (y compris les trajets entre la métropole et l'outre-mer).

La SNBC sera mise à jour avant mi-2024, notamment pour intégrer le **rehaussement de l'objectif européen de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) de 55 % d'ici 2030** par rapport aux niveaux mesurés en 1990.

Pour atteindre les objectifs de décarbonation du secteur aérien à horizon 2030 et 2050, la France mobilise l'ensemble des leviers disponibles. Quatre leviers principaux sont considérés : le progrès technologique, le développement des carburants d'aviation durables (CAD ou SAF en anglais pour *sustainable aviation fuel*), l'optimisation des opérations aériennes et des infrastructures aéroportuaires et, enfin, le recours à des mesures économiques de marché.

Pour favoriser le progrès technologique, le soutien à la politique de R&D de la filière aéronautique a été considérablement renforcé. Dans son plan de soutien à la filière aéronautique de 15 milliards € (Md€), l'Etat a clairement affiché son soutien au développement de l'avion vert, notamment en dotant de 1,5 Md€ l'action de soutien de R&D à la filière portée par la DGAC. L'Etat a réaffirmé en novembre 2021 dans le cadre de son plan France 2030 l'objectif de déployer d'ici à 2030 le premier avion « bas carbone » en misant sur les technologies d'ultra-sobriété et d'utilisation de combustible bas-carbone (hydrogène, CAD).

A court-moyen termes, l'utilisation de carburants d'aviation durables constitue le levier techniquement le plus avancé pour engager la décarbonation du transport aérien. La France est l'un des pays pionniers dans ce domaine. Avant même que la Commission européenne ne propose le règlement ReFuelEU Aviation, la feuille de route nationale fixait des objectifs d'incorporation de biocarburants d'aviation durables de 2 % en 2025 et de 5 % en 2030, et la SNBC 2 prévoyait une substitution de 50 % du carburant conventionnel d'origine fossile par des biocarburants en 2050. La France est également l'un des premiers pays à imposer un mandat d'incorporation de 1 % pour les biocarburants avancés, dès 2022 via la TIRUERT (« taxe incitative à l'utilisation d'énergies renouvelables dans les transports »). Cet objectif sera relevé à hauteur de 1,5 % dès le 1^{er} janvier 2024. Au niveau européen, dans le cadre des négociations en cours sur le règlement ReFuelEU Aviation, la France a travaillé en tant que présidence à la construction d'un compromis aussi ambitieux que possible pour définir une trajectoire de mandats d'incorporation d'ici 2050 pour les biocarburants et les carburants de synthèse (e-fuel). Enfin, au sein de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) et de son Comité pour la protection de l'environnement (CAEP), la France promeut également le déploiement des SAF. Pour que la France ne perde pas son avance dans ce domaine, la priorité doit aller au soutien massif au développement d'une filière de production de SAFs en France. Une réflexion doit également être menée quant au soutien potentiel nécessaire à l'achat de SAFs (via un mécanisme de « contrat de différence » par exemple).

En ce qui concerne le troisième levier d'actions, la **Direction des services de la navigation aérienne (DSNA) de la DGAC est très impliquée dans tous les programmes d'optimisation des procédures de navigation aérienne**. Le développement du concept *Free route* ou *Flexible use of airspace*, qui permet d'inciter à l'utilisation de routes plus directes, l'amélioration de la disponibilité et de la gestion des données grâce notamment au BigData, ou encore le déploiement des procédures d'approche en descente continue sur tous les aéroports français, sont autant de mesures permettant l'économie d'émissions de gaz à effet de serre. De même, au sol, des gains importants peuvent être obtenus dans l'électrification des opérations et dans l'amélioration de la gestion du trafic au sol.

La France soutient également le renforcement des mesures de marché mis en place au niveau européen et international. Elle est favorable à la suppression des quotas gratuits accordés aux transporteurs aériens dans le cadre du marché européen d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre proposée dans le cadre de la révision du système d'échange de quotas d'émission de l'UE et à une mise en œuvre du CORSIA aussi ambitieuse que possible. La taxation du kérosène proposée par la Commission européenne dans le cadre du paquet « Fit for 55 » permettra également, si elle est adoptée, d'accélérer la décarbonation du secteur aéronautique.

Enfin, les dispositions de la loi « climat et résilience », via les décrets d'application déjà adoptés ou en cours d'adoption, viendront renforcer l'accompagnement de la filière dans sa trajectoire de décarbonation.

En 2022, deux événements majeurs ont été l'occasion de poursuivre l'engagement de la France en faveur de la nécessaire accélération de la décarbonation du secteur aéronautique. Au cours du premier semestre, la priorité de la France durant la présidence française de l'Union européenne (PFUE) a été le verdissement de l'aviation. La PFUE avait pour objectif de faire avancer autant que possible les débats sur le paquet législatif « Fit for 55 » visant à mettre en cohérence la politique de l'UE avec ses objectifs climatiques (réduction de 55 % des émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2030). Ce paquet comporte une ambition extrêmement forte en vue de progresser dans l'objectif de décarbonation du secteur aérien. La PFUE a largement soutenu ce niveau d'ambition et obtenu des accords au Conseil sur plusieurs textes importants pour accélérer la décarbonation du secteur :

- le projet de règlement *RefuelEU* Aviation qui imposera des objectifs ambitieux d'incorporation de carburants durables pour les fournisseurs de carburants aéronautiques ;
- le projet de règlement pour le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs (AFIR) qui permettra de limiter les émissions des avions stationnés ;
- la réforme du système d'échange de quotas d'émission pour l'aviation (SEQE-UE aviation) qui mettra fin progressivement aux quotas gratuits octroyés aux compagnies aériennes.

Pour la révision de la directive sur la taxation de l'énergie qui prévoit la mise en place d'une taxation du kérosène, malgré le soutien de la France, les discussions ont été plus lentes, l'unanimité des Etats membres de l'Union étant requise pour l'adoption de ce texte.

Au second semestre, dans le cadre de la 41^{ème} session de l'Assemblée de l'OACI, qui s'est déroulée du 27 septembre au 7 octobre 2022, la France a soutenu l'adoption d'un objectif de neutralité carbone en 2050 pour le transport aérien international, en ligne avec les engagements pris dans le cadre de l'Accord de Paris pour limiter le réchauffement climatique à 1,5° C. La France est particulièrement satisfaite de ce résultat qui s'inscrit dans la lignée de la Déclaration de Toulouse initiée par la France début 2022 lors de la Présidence de l'Union européenne.

Introduction

Introduite par la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), la stratégie nationale bas-carbone (SNBC) constitue la feuille de route de la France pour lutter contre le changement climatique. La SNBC définit une trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) jusqu'à 2050 et fixe des « budgets carbone », c'est-à-dire des plafonds d'émissions à ne pas dépasser, exprimés en moyenne annuelle par période de 5 ans en millions de tonnes de CO₂ équivalent (MtCO₂eq). Ils sont déclinés par grands secteurs d'activités (transports, agriculture, industrie, bâtiment, production d'énergie, déchets, forêt-bois et sols) et par gaz à effet de serre (CO₂, N₂O, CH₄, gaz fluorés).

Pour mémoire, la première SNBC, adoptée en 2015, fixait les trois premiers budgets carbone. Elle a été révisée en 2018-2019, en visant d'atteindre la neutralité carbone en 2050 (ambition rehaussée par rapport à la 1^{ère} édition qui visait une réduction de 75 % des émissions de GES en 2050 par rapport à 1990).

La SNBC 2^{ème} édition (SNBC 2), adoptée par décret le 21 avril 2020, fixe les budgets carbone pour les périodes 2019-2023, 2024-2028 et 2029-2033. Concernant le secteur des transports en particulier, **la SNBC 2 vise une réduction de 28 % des émissions du secteur en 2030 par rapport à 2015 et une décarbonation quasi complète du secteur⁶⁹ à l'horizon 2050**. Les tranches annuelles indicatives de la SNBC 2 prévoient, en moyenne, pour le transport, une baisse des émissions de -2,5 % par an sur la période 2020-2023 puis -2,9 % par an de 2024 à 2029, et enfin -4,5 % par an de 2030 à 2033.

Le transport aérien fait, dans la SNBC2, l'objet d'un budget sectoriel, limité aux trajets intérieurs (y compris les trajets entre la métropole et l'outre-mer)⁷⁰ :

	Emissions historiques réalisées (en Mt CO ₂ eq) - années de référence			Emissions annuelles moyennes pour la période (en Mt CO ₂ eq)		
	1990	2005	2015	2 ^{ème} budget carbone (2019-2023)	3 ^{ème} budget carbone (2024-2028)	4 ^{ème} budget carbone (2029-2033)
Aviation civile domestique	-	-	5	5	5	4

Toutefois, le décret fixant la stratégie nationale bas-carbone définira également, à compter du 1^{er} janvier 2022, un plafond indicatif des émissions de gaz à effet de serre générées par les liaisons internationales au départ de France.

Les évolutions récentes des émissions de gaz à effet de serre (GES) pour 2019 et 2020 sont encourageantes quant au respect par la France de ses trajectoires en matière d'émissions de GES. Les émissions de GES sont en baisse depuis 2018 (-4,1 % en 2018, -1,9 % en 2019 et -9,4 % en 2020). Ainsi, les émissions (hors secteur des terres et forêts) de 2019 s'établissent à 436 MtCO₂e et celles de 2020 à 394 MtCO₂e, respectant les parts

⁶⁹ Une part de carburants non biosourcés est réservée à l'horizon 2050 pour le transport aérien et les soutes maritimes internationales.

⁷⁰ <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000041814459/2022-05-04/>

annuelles indicatives 2019 (443 MtCO_{2e}) et 2020 (436 MtCO_{2e}) du budget carbone 2019-2023 de la SNBC 2. Même si les conséquences du ralentissement économique lié à la crise sanitaire doivent être prises en compte pour expliquer la forte baisse observée en 2020, l'analyse d'indicateurs complémentaires, notamment sur le développement des véhicules électriques ou dans le secteur de la rénovation des logements, montre que cette baisse ne saurait être analysée uniquement comme le résultat d'une situation conjoncturelle liée au contexte de la Covid-19. Par ailleurs, les réductions d'émissions projetées pour 2021⁷¹ augurent du respect du budget indicatif de l'année 2021.

Ces évolutions s'inscrivent dans une logique d'accélération des politiques climatiques. Les orientations de la SNBC 2 ont d'ores et déjà été traduites, au niveau législatif, par des textes structurants qui ont conduit à réorienter notre façon de nous déplacer, de nous chauffer, de gérer nos déchets, etc. La Loi n°2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets, dite « loi climat et résilience » vient renforcer ce socle. Elle a l'ambition d'entraîner et d'accompagner résolument tous les acteurs dans la transition. De plus, des moyens budgétaires sans précédent notamment avec le plan de relance et France 2030 sont mobilisés à l'appui de cette transition.

Malgré ces résultats encourageants, la France est pleinement consciente de la nécessité d'accélérer encore le rythme de réduction des émissions, en intégrant dans sa stratégie climatique le rehaussement des objectifs de réduction d'émissions au niveau européen. En effet, le règlement (UE) 2021/1119 du 30 juin 2021 inscrit dans la législation européenne l'objectif de neutralité climatique pour 2050, fondé sur les Accords de Paris. La transition vers la neutralité climatique devra s'accompagner d'une réduction des émissions de GES de 55 % d'ici 2030 par rapport aux niveaux mesurés en 1990 (contre 40 % auparavant).

Les mesures du paquet « Fit for 55 » correspondent aux propositions de la Commission européenne du 14 juillet 2021 : elles font actuellement l'objet de négociation au niveau européen et peuvent encore évoluer. Dans le cadre de sa présidence du Conseil de l'UE, la France a travaillé activement à faire avancer les textes correspondants avec le souci de garantir une cohérence d'ensemble pour l'atteinte de l'objectif climatique européen de -55 % net d'ici 2030 et *in fine* pour l'atteinte de la neutralité climatique du continent européen d'ici 2050.

La France prendra en compte dans la SNBC 3^{ème} édition, en cours de préparation, les mesures sectorielles proposées dans le cadre du Paquet « Fit for 55 » et proposera le cas échéant les mesures supplémentaires pour garantir l'atteinte de ces nouveaux objectifs. La révision quinquennale de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) et de la SNBC sera pour la première fois précédée de l'adoption d'une loi de programmation sur l'énergie et le climat, qui fixera les priorités d'action de la politique climatique et énergétique. La SNBC et la PPE seront actualisées pour mettre en œuvre les orientations de cette loi, dans un délai d'un an suivant son adoption, c'est-à-dire avant le 1^{er} juillet 2024. Pour renforcer l'articulation entre les politiques d'atténuation et d'adaptation au changement climatique, la révision du plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) est également intégrée dans ce processus.

Les travaux d'élaboration de la future Stratégie française sur l'énergie et le climat (SFEC) ont été engagés en 2021. Ils s'attacheront à répartir l'effort supplémentaire induit entre les différents secteurs. L'enjeu pour le secteur aérien sera de faire valoir ses spécificités, notamment liées à la difficulté à décarboner sa source d'énergie (pas de solution d'électrification à grande échelle comme pour la plupart des modes de transport terrestre) et à la durée des cycles de développement.

⁷¹ Selon les données du CITEPA dans son baromètre mensuel des émissions de gaz à effet de serre.

Au-delà des dispositifs réglementaires et des outils pour accompagner les entreprises dans leur transition, la loi « climat et résilience » est venue renforcer l'implication des acteurs économiques dans la mise en œuvre de la SNBC. Pour planifier les investissements nécessaires à l'atteinte des objectifs climatiques à échéance 2030-2050 et identifier les leviers de décarbonation et les freins à surmonter, l'article 301 de la loi « climat et résilience » prévoit la construction de feuilles de route de décarbonation pour les secteurs les plus émetteurs. Le ministère de la transition écologique et le ministère de l'économie, des finances et de la relance, ont lancé en février 2022 l'élaboration de ces feuilles de route. Pour le secteur aérien, le premier comité de pilotage de la feuille de route s'est tenu le 13 avril 2022. Les acteurs de la filière sont fortement impliqués dans ses travaux, l'objectif étant de disposer d'une feuille de route de décarbonation du secteur aérien en janvier 2023.

Partie 1 : Les enjeux de la décarbonation du transport aérien

1. La contribution du secteur aérien au réchauffement climatique

L'impact climatique direct du transport aérien résulte de la combustion du kérosène dans les réacteurs d'avion, qui émet en premier lieu le dioxyde de carbone (CO₂) dont l'effet de serre est connu et qui s'accumule dans l'atmosphère. Chimiquement inerte, le CO₂ émis dans l'atmosphère par l'aviation civile est directement proportionnel au kérosène consommé. Dans l'annexe 16 de la convention de Chicago, l'OACI retient un facteur d'émission du CO₂ égal à 3,16 (kg CO₂ /kg fuel)⁷².

En 2019, d'après l'ATAG (*Air Transport Action Group*), le transport aérien a consommé 363 millions de litres de kérosène, soit 914 MtCO₂ rejetées dans l'atmosphère. Les émissions du secteur représentaient ainsi 2 à 3 % du total des émissions mondiales, et environ 10 % des émissions du secteur des transports. Aujourd'hui, les émissions cumulées du secteur aérien depuis 1940 représentent 32,6 milliards de tonnes de CO₂, dont 50 % émises au cours des deux dernières décennies.

En France, le secteur des transports demeure le premier secteur émetteur, responsable de 31 % des émissions en 2019 (source : Citepa). D'après la DGAC, qui fournit chaque année une évaluation des émissions en France liées au transport aérien, en 2019, les émissions du transport aérien intérieur (aviation commerciale, y compris Outre-Mer) s'élèvent à 4,8 MtCO₂ (dont 2,7 Mt pour la desserte de l'Outre-mer i.e. pour les liaisons métropole/Outre-Mer et Outre-Mer/Outre-Mer). Selon les données d'inventaire (valeurs recalculées d'après les ventes de carburant aviation en France), les émissions totales de CO₂ pour l'ensemble du trafic aérien, incluant l'aviation commerciale (y compris les groupes auxiliaires de puissance, APU) et l'aviation non commerciale (de l'ordre de 4 %) se sont élevées à 24,4 MtCO₂ en 2019. La part du secteur aérien imputée à la France selon l'inventaire national des émissions 2019 au format CCNUCC (5,0 MtCO₂ pour le trafic domestique) représentait 3,8 % des émissions du secteur des transports et 1,5 % des émissions totales de la France. Après réintégration des routes internationales aériennes et maritimes dans les bilans, **le secteur aérien représentait 15,6 % des émissions du secteur des transports et 6,8 % du total des émissions de CO₂ de la France en 2019**. En 2020, les émissions de CO₂ ont diminué de 54,3 % en raison de la crise du Covid-19.

Toutefois, les effets de l'aviation sur le climat ne se limitent pas au seul inventaire des émissions de dioxyde de carbone (CO₂). D'autres facteurs de forçage radiatif dus au transport aérien, regroupés sous la dénomination d'effets non-CO₂, produisent un impact indirect sur le climat : émission d'oxydes d'azote (NO_x), émission d'aérosols, traînées de condensation et nuages induits (cirrus), modification des nuages d'altitude inférieure, etc. Contrairement au CO₂, ces effets ont une durée de vie relativement courte dans l'atmosphère, de quelques minutes à une dizaine d'années (vs. plusieurs siècles pour le CO₂). Les connaissances scientifiques sur les effets non-CO₂ sont encore insuffisantes pour évaluer les impacts avec précision : de fortes incertitudes pèsent sur les différentes modélisations et estimations. Les recherches nécessaires pour approfondir les connaissances scientifiques, déjà engagées depuis une décennie, doivent se poursuivre. La DGAC participe à ces efforts de recherche à travers le financement de la chaire « Climaviation ».

⁷² Ce facteur est fixé à 3,15 dans le dispositif européen.

Depuis plusieurs décennies, le trafic aérien mondial connaît une croissance forte, et le taux de croissance futur était estimé à 5 % par an environ avant l'épidémie de la Covid-19. Cependant, cette dernière a fortement bouleversé le secteur aéronautique et réduit drastiquement le trafic aérien. L'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a estimé la baisse de trafic aérien international de passagers à 60 % en 2020, avec 1,8 milliard de passagers aériens contre 4,5 milliards en 2019. Toutefois, selon les prévisions de IATA (*International Air Transport Association*), le trafic aérien mondial pourrait retrouver son niveau d'avant-crise en 2024 et reprendre son évolution à la hausse, même si des incertitudes demeurent sur l'intensité et la date de reprise. Les efforts de décarbonation ne doivent donc pas ralentir.

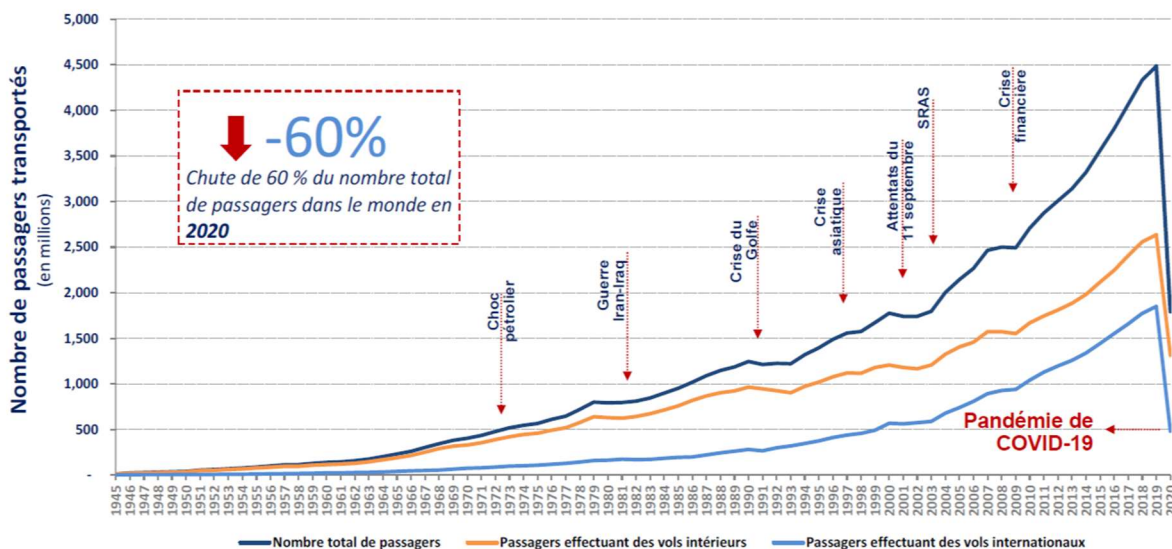


FIGURE 1 : EVOLUTION DU TRAFIC MONDIAL DE PASSAGERS 1945 – 2020 (SOURCE : OACI)

2. Les engagements récents du secteur

Ne serait-ce que pour des raisons de performances économiques, le secteur du transport aérien a toujours été engagé dans un processus de réduction de la consommation de carburant des aéronefs. Les progrès technologiques ont ainsi permis de diminuer de 80 % les émissions de CO₂ par passager et par kilomètre depuis l'introduction des premiers avions commerciaux à réaction il y a environ 60 ans. Chaque nouvelle génération d'avions est environ 25 % plus efficace que la précédente en termes de consommation de carburant et moins bruyante. Par passager-kilomètre, en moyenne sur la flotte européenne en 2018, le transport aérien émet 96 grammes de CO₂, en comparaison avec une petite voiture qui en émet 104 (pour une occupation moyenne d'environ 1,5 passagers)⁷³. Ces valeurs sont cependant à relativiser : les usages varient considérablement entre les modes de transport qui répondent à des besoins de mobilité très différents et complémentaires, les trajets en avion parcourant de plus grandes distances.

La recherche de l'économie en carburant, qui se couple parfaitement avec les exigences de réduction d'émissions, doit se poursuivre. Cependant, face à l'urgence climatique, celle-ci ne suffit plus pour répondre aux objectifs de décarbonation du secteur aéronautique.

⁷³ IATA, 2021 : Waypoint 2050.

Désormais, tous les leviers de décarbonation doivent être mobilisés pour progresser vers la décarbonation du secteur.

En octobre 2021, l'IATA (*International Air Transport Association*) s'est engagée à la neutralité carbone du transport aérien en 2050 avec son plan *Fly Net Zero*, renforçant ainsi l'ambition de la « croissance neutre en carbone 2020 » adoptée en 2010 par l'OACI. L'ensemble de l'industrie aéronautique mondiale, regroupée au sein de l'ATAG (*Air Transport Action Group*)⁷⁴, s'est aligné sur cet objectif. La feuille de route pour atteindre cette neutralité carbone en 2050 est contenue dans le rapport *Waypoint 2050*.

Au niveau européen, l'étude *Destination 2050*⁷⁵, publiée en février 2021, donne également les objectifs pour atteindre zéro émission nette de CO₂ en 2050 pour les vols au départ et au sein de l'Europe.

Au niveau national enfin, le Conseil pour la recherche aéronautique civile (CORAC) a publié sa feuille de route technologique ainsi que sa stratégie de décarbonation pour parvenir à ce même objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050.

Dans le cadre de la présidence française du Conseil de l'Union européenne, la France a organisé le Sommet de l'Aviation consacré à la décarbonation du transport aérien les 3 et 4 février 2022 à Toulouse. La Commissaire européenne aux transports, les ministres des transports des 27 États membres de l'Union européenne, le président du Conseil de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), les directeurs généraux de l'aviation civile des États de la CEAC, ainsi que des représentants de l'industrie aéronautique et des représentants d'autres pays (États-Unis, Japon, Canada, etc.) se sont réunis pour débattre de l'avenir du transport aérien et des leviers de décarbonation du secteur. À quelques mois de l'assemblée triennale de l'OACI, ce Sommet a abouti à une déclaration sans précédent à l'échelle mondiale, tant par son contenu que par le nombre de signataires, reconnaissant un objectif commun de zéro émission nette d'ici 2050 et affirmant l'importance d'une vision holistique du développement durable qui tienne pleinement compte de ses dimensions environnementales, économiques et sociales.

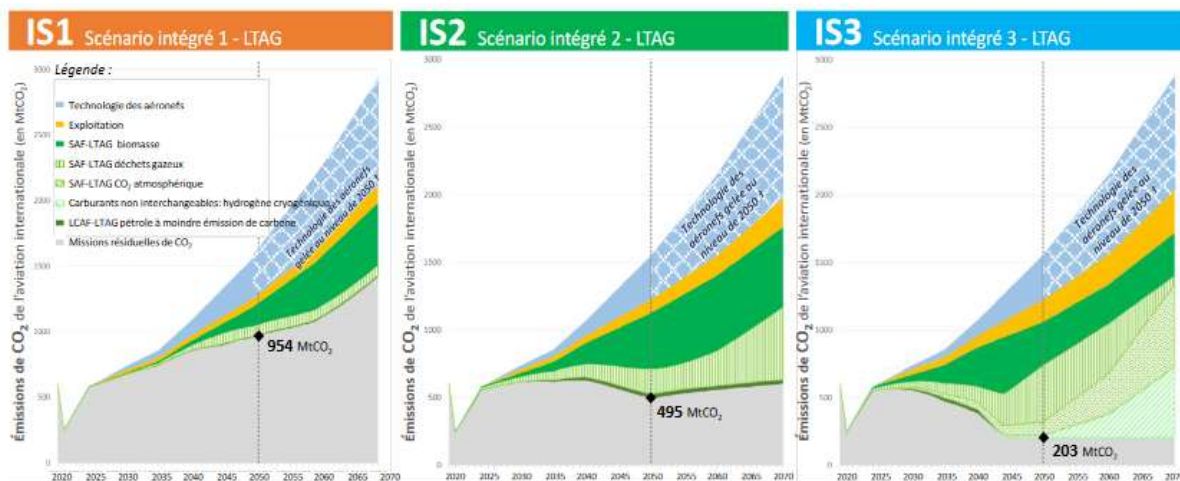
La France s'est pleinement investie pour qu'un objectif à long terme soit adopté lors de la 41^{ème} session de l'Assemblée, en septembre et octobre 2022. Pour mémoire, l'objectif que s'était déjà fixé l'OACI est celui d'une stabilisation des émissions mondiales du secteur aérien à partir de 2020, adopté lors de la 39^{ème} Assemblée de l'OACI en octobre 2016.

Le rapport technique du Comité de la protection de l'environnement en aviation (CAEP) sur « la faisabilité d'un objectif ambitieux à long terme concernant la réduction des émissions de CO₂ » (*Long-Term Aspirational Goal – LTAG*), validé en février 2022 lors de la réunion de clôture du 12^{ème} cycle du CAEP, a permis d'éclairer la décision de l'Assemblée.

Il convient de noter qu'aucun des trois scénarios étudiés dans ce rapport ne permettra d'atteindre la neutralité carbone en 2050 uniquement à l'aide de mesures sectorielles (technologie des aéronefs, exploitation et carburants), en raison des émissions de CO₂ résiduelles liées au cycle de vie des carburants durables. Pour y parvenir, des mesures supplémentaires dites "hors-secteur", telles que des compensations carbone, resteront nécessaires. Quel que soit le scénario choisi les SAF constituent le principal levier de décarbonation, représentant jusqu'à 55 % de réduction des émissions dans le scénario le plus volontariste.

⁷⁴ Regroupant notamment : Airports Council International (ACI), Civil Air Navigation Services Organization (CANSO), International Air Transport Association (IATA), International Business Aviation Council (IBAC), International Coordinating Council of Aerospace Industries Associations (ICCAIA), et General Aviation Manufacturers Association (GAMA)

⁷⁵ <https://www.destination2050.eu/>



† La prudence est de mise dans l'interprétation des niveaux absolus d'émissions de CO₂ après 2050 en raison des hypothèses de modélisation, p. ex., arête de la technologie des aéronefs au niveau de 2050. En vertu de ces hypothèses, les émissions de CO₂ sont plus élevées que dans un scénario de rechange (et selon une approche de modélisation) où la technologie des aéronefs continuerait de s'améliorer après 2050.

FIGURE 2 : ÉMISSIONS DE CO₂ DE L'AVIATION INTERNATIONALE ASSOCIEES AUX SCENARIOS LTAG

Partie 2 : Soutenir le renouvellement des flottes et les progrès technologiques

Les progrès technologiques constituent un levier efficace de décarbonation du secteur aérien. Au cours des 30 dernières années, ils ont permis une division par deux de la consommation de kérosène par avion, et donc des émissions de CO₂ par passager.km.

Pour aller encore plus loin, les acteurs de la filière aéronautique, via le CORAC, ont défini en concertation avec l'Etat une feuille de route ambitieuse focalisée sur la préparation technologique de l'avion vert du futur.

1. Accélérer et optimiser le renouvellement des flottes

Pour des raisons de performances économiques, le secteur du transport aérien a toujours été engagé dans un processus de réduction de la consommation de carburant des aéronefs. Les aéronefs bénéficient de progrès technologiques constants qui améliorent leurs performances environnementales. Actuellement, il est estimé que les gains de carburant et d'émissions de CO₂ d'une génération à l'autre sont de 15 % à 25 %. Avec certaines ruptures technologiques, la prochaine génération d'appareils pourrait livrer des gains d'efficacité encore plus élevés, de l'ordre de 25 % à 30 %.

Cependant, le cycle d'un avion étant de l'ordre de 25 ans, le remplacement des avions de la flotte actuelle par ces avions « ultra sobres » ne pourra être envisagé que si le gain financier provenant de la réduction de consommation de carburant est suffisamment élevé pour motiver leur achat par les compagnies aériennes, et initier un renouvellement anticipé des flottes afin d'accélérer la baisse des émissions moyennes de la flotte. Le principal levier est de mettre en service des avions verts compétitifs, c'est-à-dire présentant un bilan coût/bénéfice favorable pour les compagnies aériennes. Cela passe par des investissements massifs dans la R&T des industriels avec un soutien public adapté. Par ailleurs, compte-tenu des surcoûts à l'achat et des incertitudes de marché (s'agissant d'un appareil très innovant), il pourra être nécessaire de soutenir sous une forme à définir l'effort d'investissement des compagnies dans ces nouveaux appareils.

Pour autant et sans attendre ces sauts technologiques, les compagnies aériennes s'inscrivent dans un processus de renouvellement de leur flotte afin d'être plus compétitives par la baisse de la facture de carburant, cette opération conduisant parallèlement à une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre.

A titre d'exemple, Air France a décidé en juin 2020 d'accélérer le renouvellement de sa flotte, ce qui lui permettra également d'être plus compétitive par la baisse de sa facture de carburant. Cette opération conduit parallèlement à une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre grâce à :

- la commande ferme de 60 Airbus A220-300, assortie de 30 options et 30 droits d'acquisition, pour remplacer progressivement sa flotte d'A318 et d'A319 (l'A220-300 génère 20 % d'émissions de CO₂ en moins comparé à des appareils de sa catégorie et est moins bruyant) ;
- la sortie des 10 A380 de sa flotte, et l'étude du remplacement de ces appareils par des appareils de nouvelle génération (A350). Avec ses quatre réacteurs, l'A380 consomme 20 à 25 % de carburant en plus par siège passagers que les appareils biréacteurs long-courriers de nouvelle génération, et émet donc plus de CO₂.

De telles mesures sont sources de gains importants en termes de réduction d'émissions de CO₂, mais elles impliquent des investissements dont le coût est élevé au regard de la tonne de CO₂ évitée.

2. Soutenir la recherche dans le domaine aéronautique

L'aéronautique est une industrie à cycles très longs et avec des coûts de développement très élevés. Une quinzaine à une vingtaine d'années s'écoulent en général entre les premiers travaux de recherche amont sur de nouvelles technologies et l'atteinte d'une maturité suffisante pour intégrer puis rentabiliser ces technologies sur un aéronef en service. A l'échelle d'un programme avion, les investissements en R&D nécessaires sur l'ensemble du cycle sont estimés à plusieurs milliards d'euros.

Au vu de ces spécificités structurelles, les industriels du secteur ne sont pas en mesure de supporter l'intégralité de ces risques, et leurs partenaires financiers privés non plus compte tenu des montants de financements en jeu et des durées de retour sur investissement, ce qui rend l'intervention de la puissance publique indispensable. Les concurrents de l'industrie aéronautique européenne sont d'ailleurs fortement soutenus par leurs Etats (Etats-Unis, Chine, Russie).

La DGAC assure depuis 1976 la définition et la mise en œuvre de la politique de soutien à la R&D de la filière aéronautique. Depuis 2008, ce soutien s'appuie fortement sur le Conseil pour la recherche aéronautique civile (CORAC) instance publique-privée de concertation entre les grands intégrateurs de la filière (Airbus, Safran, Thales, Dassault Aviation), le groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales (GIFAS) et ses groupements d'équipementiers aéronautiques et de défense (GEAD) et PME aéronautiques (Comité Aéro-PME), le monde académique (ONERA, CNRS), les opérateurs de transport aérien (FNAM, Air France), les opérateurs aéroportuaires (UAF, ADP) et les services de la navigation aérienne (DGAC/DSNA), ainsi que l'ensemble des ministères compétents (transports, défense, industrie et recherche).

La principale mission du CORAC est de mettre en cohérence, de prioriser et de synchroniser les efforts de recherche et d'innovation de la filière, à travers notamment l'élaboration et l'actualisation d'une feuille de route partagée qui définit les grandes cibles technologiques à atteindre en fonction des objectifs et échéances des futurs programmes d'aéronefs portés par les grands intégrateurs.

La mise en œuvre de la politique de soutien de la DGAC repose sur un processus de concertation permanent au sein du CORAC associé à un processus de programmation annuelle géré exclusivement par la DGAC.

Dans le cadre du plan de relance aéronautique, l'Etat et la filière via le CORAC ont établi une feuille de route ambitieuse pour accélérer la préparation technologique de l'avion vert dans un calendrier compatible avec les objectifs de décarbonation du secteur fixés à l'échelle européenne. Cette feuille de route s'inscrit dans une perspective décennale et nécessite au total 10 milliards € d'investissement en recherche et technologie (R&T) pour développer et valider les technologies clés de l'avion vert. Les défis technologiques à relever pour la mise en service à l'horizon 2030-35 d'aéronefs bas carbone sont en effet considérables et nécessitent une intensification des efforts de R&T de la filière sur la décennie en cours.

Le volet R&T aéronautique du Plan de relance, doté d'une enveloppe de 1,5 Md€, a été mis en place pour amorcer et accompagner ces efforts sur la période 2020-2022, dans un contexte de crise inédite pour le secteur impactant fortement la capacité d'autofinancement des industriels.

L'ambition majeure de cette action est de préparer la rupture environnementale de l'aviation tout en confortant et en transformant la majeure partie des capacités de toutes les composantes de la filière, pour maîtriser dans moins d'une décennie l'intégration dans

les aéronefs des technologies de rupture (énergies décarbonées et réductions massives de consommation) qui fonderont la transformation écologique du secteur, et pour gagner fortement en efficacité (réduction des coûts et des cycles, accélération générale de la maturation des technologies, ...) ce qui rendra possible l'introduction des appareils verts à des coûts soutenables pour le marché. La crédibilité de cette ambition est confortée par le pouvoir de marché de l'industrie aéronautique française sur la moitié de la flotte mondiale au travers d'Airbus et plus de 70 % des moteurs de moyen-courriers au travers de Safran.

Dans le cadre de son plan d'investissement France 2030, annoncé en novembre 2021, le Gouvernement a réaffirmé l'objectif de déployer d'ici à 2030 le premier avion « bas carbone » en mettant une priorité encore plus forte sur le soutien au développement des technologies de décarbonation. Le volet aéronautique de ce plan s'élève à 1,2 milliard d'euros, dont 800 millions d'euros sont dédiés au soutien des projets issus de la feuille de route du CORAC. Ce soutien va permettre de poursuivre les efforts engagés dans le cadre du plan de relance en offrant à la filière une visibilité pluriannuelle. Les 400 millions d'euros restant sont orientés vers le soutien à l'émergence de nouveaux acteurs dans le domaine de la construction aéronautique et notamment l'aviation légère (start-ups et PME) ainsi qu'à l'émergence en France d'une filière de production de carburant durable dans le prolongement de l'appel à projets en cours pour financer la phase de recherche et de premiers démonstrateurs.

3. Favoriser l'apparition d'aéronefs bas carbone

Dans le secteur aéronautique, l'innovation incrémentale, gage de sécurité, est privilégiée depuis la démocratisation du transport aérien. Cependant, face à l'urgence climatique, l'aviation doit changer de modèle énergétique pour aller vers l'ultra efficacité et l'utilisation de nouveaux combustibles bas carbone. L'avion du futur devra ainsi intégrer des innovations technologiques de rupture, tout en restant compétitif et en respectant le calendrier ambitieux de mise en service des premiers appareils grâce à l'accélération de son cycle de développement.

3.1 L'avion ultra efficace

Quelle que soit l'énergie utilisée, l'avion vert du futur devra minimiser la quantité d'énergie consommée. En effet, le coût d'approvisionnement des nouveaux combustibles bas carbone sera nettement plus important que celui du kérosène d'origine fossile. L'ultra efficacité énergétique (avec un objectif de réduction de consommation de 30 % par rapport aux meilleurs avions actuels) constitue donc le pilier central de la stratégie de décarbonation du CORAC et de sa feuille de route technologique. Cet objectif d'ultra efficacité s'appuie sur plusieurs axes majeurs d'efforts technologiques, tous couverts par le volet R&T aéronautique du Plan de relance :

- l'hybridation électrique de la propulsion : pour que celle-ci ait un sens dans l'aviation de ligne, il faut qu'elle apporte une puissance de l'ordre du MW ; or, aucune installation électrique aujourd'hui embarquée à bord d'un aéronef n'est capable de transporter ce niveau de puissance, et les systèmes terrestres ne sont pas adaptés, car trop volumineux et trop lourds ; pour des appareils d'aviation légère, l'hybridation électrique de la propulsion peut être mature à échéance de 5 ans, car ces appareils sont beaucoup moins lourds, et volent moins loin ; les projets lancés en 2020 portent donc sur divers éléments des chaînes électriques propulsives et leur intégration dans les futurs aéronefs : solutions de protection pour les réseaux électriques haute tension, études d'intégration d'une machine électrique dans un turboréacteur d'avion, préparation d'une démonstration de propulsion hybride pour hélicoptère léger : en 2021, les projets soutenus portent notamment sur l'optimisation des architectures énergétiques avion/système

propulsif grâce à l'hybridation, l'électrification du système de roulage de l'avion, l'amélioration des performances des systèmes de batteries et de piles à combustibles pour les futurs avions hybrides, ainsi que l'amélioration de la compétitivité des composants clés (moteurs électriques, électronique de puissance) des chaînes électriques de ces avions ;

- le futur moteur ultra efficace : les projets lancés en 2020 portent sur la soufflante (propulseur à hélice généralement caréné) de ce futur moteur et sa régulation ; grâce à une architecture innovante et aux matériaux avancés, notamment composites de 3^{ème} génération, ce module de soufflante de très grande dimension vise des taux de dilution en rupture, de l'ordre de 25 contre 10 environ pour le moteur LEAP actuel, avec un niveau de compacité et d'allègement extrêmes pour le moteur ; en 2021, les projets soutenus portent principalement sur la chambre de combustion qui, contrairement à la soufflante, devra être beaucoup plus compacte tout en assurant la parfaite opérabilité du moteur dans toutes les conditions de vol et en résistant à des températures plus élevées ;
- l'optimisation des formes aérodynamiques : les projets lancés en 2020 ont pour objectif de concevoir une voilure pour avion commercial à grand allongement et à masse optimisée, ainsi que les surfaces mobiles (ailerons, volets, spoilers) qui permettront d'en garder le contrôle au cours du vol (une aile à grand allongement devient très souple et se déforme beaucoup au cours du vol) ; en 2021, les projets soutenus visent d'une part à valider sur un démonstrateur les performances d'une voilure à grand allongement pour avion commercial et d'autre part à concevoir une voilure composite de grande dimension pour avion d'affaires, optimisée en masse et en traînée pour une croisière la plus efficace possible.

3.2 Les nouveaux combustibles bas carbone

Les carburants d'aviation durables

Les avions de ligne sous leur forme actuelle étant tributaires d'un combustible à forte densité d'énergie pour leur propulsion, la décarbonation du secteur passe par la décarbonation de ce combustible, et ce sur l'ensemble de son cycle de vie. La solution la plus immédiate est de substituer au kérosène fossile des carburants d'aviation durables (CAD / SAF) possédant des propriétés physico-chimiques suffisamment proches pour être utilisables sans modification majeure des appareils (cf. infra). Afin de maximiser les bénéfices liés à la faible empreinte carbone de ces carburants alternatifs durables, l'avion vert du futur doit être conçu pour pouvoir utiliser ces carburants jusqu'à un taux d'incorporation de 100 %, alors que les normes en vigueur pour les carburants approuvés limitent aujourd'hui ce taux à 50 %. Cela nécessite des optimisations et des adaptations technologiques qui permettront de garantir la compatibilité des moteurs et du circuit carburant de l'avion vis-à-vis d'une grande diversité de carburants alternatifs, issus de multiples filières d'approvisionnement et procédés de fabrication, pour des taux d'incorporation variant de 0 à 100 %, selon la disponibilité de ces carburants sur les plateformes aéroportuaires.

Dans le cadre du plan de relance aéronautique, la DGAC a soutenu fin 2020 le projet de recherche VOLCAN (VOLs avec des Carburants Alternatifs Nouveaux). Piloté par Airbus, en partenariat avec Safran, Dassault Aviation et l'ONERA, ce projet doit évaluer l'impact de l'utilisation de 100 % de CAD non mélangé dans les avions et moteurs existants, en mesurer les bénéfices environnementaux et définir les éventuelles adaptations à apporter aux avions actuels et futurs. Les premiers essais en vol sur un avion d'essai A319neo ainsi que sur un hélicoptère Super Puma (H225) ont été réalisés avec succès en 2021.

Au global, la combinaison d'un appareil ultra efficace 30 % plus efficace et d'un taux d'incorporation de 100 % de carburants alternatifs durables permettrait d'aboutir à un

avion « vert » émettant 5 fois moins de CO₂. Cependant, la généralisation de ces incorporations massives dépendra de la capacité à produire et distribuer ces nouveaux carburants dans des volumes suffisants au regard de la demande de trafic aérien, à des coûts soutenables pour le marché, et avec une empreinte carbone minimale.

La propulsion à l'hydrogène

Pour aller au-delà et obtenir finalement un avion « zéro émission de CO₂ », il est nécessaire de changer de vecteur énergétique. L'hydrogène, qui peut être produit de manière totalement décarbonée par électrolyse de l'eau, est le vecteur alternatif le plus prometteur : sa combustion directe dans un moteur de type turbomachine ne produit pas de CO₂ et pourrait permettre, si elle est bien maîtrisée, de réduire de 80 % les émissions de NO_x (oxydes d'azote). Cependant, les propriétés thermochimiques⁷⁶ de l'hydrogène étant très différentes de celles du kérosène, la substitution de l'hydrogène au kérosène nécessite le développement de nouvelles architectures de propulsion⁷⁷ et de nouveaux matériaux adaptés. L'hydrogène peut également alimenter des piles à combustible, qui ont certes l'avantage de ne rejeter que de la vapeur d'eau, mais dont les performances actuelles (densité de puissance, température de fonctionnement) sont trop limitées pour couvrir les besoins en puissance propulsive des avions de ligne. Celles-ci pourront néanmoins être utilisées comme des sources alternatives à l'unité de puissance auxiliaire (APU) et aux générateurs montés sur les moteurs pour la fourniture d'énergie non propulsive, mais aussi pour la fourniture d'une assistance électrique aux moteurs.

Le principal défi technologique de l'avion à propulsion hydrogène porte sur le stockage et la distribution de l'hydrogène à bord, depuis les réservoirs jusqu'aux moteurs. En effet, pour un avion de ligne, compte tenu des contraintes de masse et de volume, la seule solution envisageable pour embarquer de l'hydrogène est de le stocker à l'état liquide, soit à une température de -253°C, ce qui suppose l'utilisation de réservoirs cryogéniques. Le volume de ces réservoirs restera toutefois 3 à 4 fois supérieur à celui des réservoirs de kérosène actuels, et leur forme devra être sphérique, cylindrique ou conique pour résister aux pressions internes, ce qui exclut toute possibilité d'intégration de ces réservoirs dans les ailes, comme pour les avions actuels. De nouvelles configurations d'avions doivent donc être envisagées, en prenant en compte les performances et les contraintes de dimensionnement et d'intégration des réservoirs cryogéniques, mais aussi du circuit de distribution en hydrogène, lui-même en partie cryogénique, des moteurs et piles à hydrogène et de leurs circuits respectifs d'alimentation et de refroidissement. Par ailleurs, ces configurations devront être conçues pour garantir l'efficacité et la sécurité des opérations d'avitaillement en hydrogène de l'avion au sol, qui mettront en œuvre de nouveaux moyens de servitude, en forte interaction avec l'avion, et s'appuieront sur de nouvelles infrastructures logistiques sur aéroport.

En outre, pour mettre en œuvre en toute sécurité de l'hydrogène à bord d'un avion, il est impératif de maîtriser parfaitement les nouveaux risques⁷⁸ associés à ce nouveau combustible. Cela suppose d'établir de nouveaux principes de conception, surveillance et régulation⁷⁹ des systèmes de stockage, distribution, propulsion jouant un rôle clé pour la sécurité, et de développer de nouvelles technologies critiques pour le stockage cryogénique

⁷⁶ Inflammabilité extrême, faible masse volumique, fort pouvoir calorifique, propension à fuir, perméation dans les matériaux solides, ...

⁷⁷ Foyers et systèmes d'injection, actionnement des équipements moteur, refroidissement interne, lubrification, stockage, distribution...

⁷⁸ Surpression dans les réservoirs, fluctuation voire blocage de débit dans le circuit d'alimentation, fuite et inflammation voire explosion, fragilisation précoce des matériaux, corrosion des parties chaudes, ...

⁷⁹ Détection des fuites, gestion du feu, maîtrise des phases transitoires, inertage des espaces confinés, tenue thermomécanique, ...

de l'hydrogène⁸⁰, son acheminement jusqu'aux moteurs aux conditions de pression et température requises⁸¹ et enfin son injection et sa combustion maîtrisées dans les moteurs⁸².

Enfin, compte tenu des enjeux d'efficacité énergétique, il est essentiel d'exploiter au mieux les opportunités offertes par la disponibilité d'hydrogène à très basse température à bord de l'avion. Celui-ci peut notamment être utilisé comme « puits thermique » pour améliorer le refroidissement des moteurs et contribuer ainsi à leur performance globale, ou encore pour mettre en œuvre des technologies cryogéniques et supraconductrices dans la chaîne électrique embarquée et en faciliter ainsi la montée en puissance, en apportant des gains de performances significatifs tout en limitant le niveau de tension du réseau et les inconvénients associés.

Le niveau d'ambition technologique de ce nouveau concept d'avion « cryogénique » est donc considérable, et avant de faire voler un tel appareil, de très importants travaux exploratoires sont nécessaires. Les premiers travaux exploratoires et études de levée des risques, préalables à la montée en maturité des technologies de propulsion par hydrogène, ont été soutenus dans le cadre du Plan de relance. Les projets lancés en 2020 visent à établir un référentiel de sécurité et à évaluer les principaux verrous technologiques liés à l'utilisation de l'hydrogène comme combustible dans des moteurs aéronautiques et à son acheminement depuis un stockage liquide sous forme cryogénique jusqu'à son injection dans les moteurs. Ces études, qui associent les compétences de l'industrie aéronautique et de l'industrie spatiale, doivent notamment permettre de préparer une future démonstration au sol d'un moteur aéronautique à combustion hydrogène et de son système d'alimentation. En 2021, les projets soutenus permettent d'approfondir ces premières études en se concentrant plus particulièrement sur les réservoirs à hydrogène embarqués.

Dans le cadre de France 2030, Airbus et ses partenaires vont poursuivre les études d'architecture et les travaux de dérisquage technologique nécessaires au développement de l'avion à hydrogène. Ces travaux ont notamment pour ambition d'amener à une première démonstration en vol en 2025 dont les conclusions permettront d'acter ou non le lancement d'un programme d'avion à propulsion hydrogène.

3.3 Des engagements européens vers une aviation à émissions nulles

L'avion dit "à émission zéro" présente un énorme potentiel pour atteindre les objectifs climatiques de l'UE d'ici 2050. Le développement de ce type d'avion, qui repose sur de nouvelles technologies de propulsion (électrique ou à hydrogène), ne peut être mené à bien sans la coopération de tous les industriels européens. L'UE apporte son soutien à l'industrie européenne dans cette démarche par le biais de diverses initiatives concrètes, en particulier à travers une contribution de 1,7 Md€ au partenariat européen « Clean Aviation » lancé dans le cadre du nouveau programme-cadre pour la recherche et l'innovation (PCRI), « Horizon Europe », qui couvre la période 2021-2027. Ce nouveau partenariat, qui succède au partenariat « Clean Sky 2 » du précédent PCRI « Horizon 2020 », est focalisé sur la transition énergétique de l'aviation commerciale dans le but de maximiser les impacts en matière de décarbonation de l'aviation, le transport aérien commercial en appareils de plus de 100 places concentrant à lui seul plus de 95% des émissions de CO₂ du secteur. Ce cadrage général a été soutenu par la France et les grands axes technologiques du partenariat - l'avion court- et moyen-courrier ultra efficace, l'avion régional hybride électrique et la propulsion hydrogène - apparaissent bien alignés avec

⁸⁰ Isolation des réservoirs, gestion de la pression, mesure de niveau liquide, ...

⁸¹ Pompes, vannes, échangeurs, compresseurs, ...

⁸² Mesure de débit, injecteurs « Low NOx », compatibilité matériaux...

ceux du programme national de soutien mis en œuvre par la DGAC dans le cadre des plans « France Relance » et « France 2030 ».

Sur le plan programmatique, le partenariat « Clean Aviation » est également cohérent avec les programmes nationaux puisqu'il a principalement vocation à soutenir de grandes opérations de démonstrations intégrées de briques technologiques développées au niveau national, opérations qui sont par essence transnationales dans le domaine de l'aviation commerciale.

Dans la continuité des engagements pris par les Etats au Sommet de l'aviation de Toulouse, l'Alliance pour une aviation à émissions nulles (électrique ou hydrogène) a officiellement été lancée par la Commission européenne le 30 juin 2022 (*European Alliance for Zero-Emission Aviation*). Cette alliance est une initiative volontaire de partenaires publics et privés qui vise à préparer l'écosystème de l'aviation à la mise en service d'aéronefs électriques ou fonctionnant à l'hydrogène. La structure réunira des représentants des constructeurs d'aéronefs, des compagnies aériennes, des aéroports, des entreprises d'énergies et des fournisseurs de carburant, des agences de normalisation et de certification, des groupes d'intérêt pour les passagers ou dans le domaine de l'environnement et des régulateurs.

L'Alliance traitera, entre autres, des sujets tels que les exigences en matière de carburant et d'infrastructure pour les aéronefs électriques et à hydrogène dans les aéroports, la normalisation et la certification, ainsi que les implications pour les opérateurs (compagnies aériennes) et la gestion du trafic aérien.

Le sujet de la production d'hydrogène décarboné est quant à lui d'ores et déjà couvert au niveau national à travers la stratégie pour le développement de l'hydrogène décarboné en France, dotée de 7 Md€ d'ici 2030, et visant l'émergence d'une filière française de l'électrolyse avec l'objectif d'une capacité installée de 6,5 GW en 2030, ainsi qu'au niveau européen à travers l'alliance industrielle pour l'hydrogène propre, qui s'appuie notamment sur le partenariat européen « *Clean Hydrogen* » du programme Horizon Europe pour le soutien à la R&D et sur les PIIEC hydrogène financés par les Etats membres et la Commission pour le soutien aux premiers déploiements industriels.

Partie 3 : Promouvoir le développement et l'utilisation des carburants d'aviation durables (SAF)

A court et moyen terme, **le développement des carburants alternatifs aux carburants fossiles constitue l'un des leviers les plus prometteurs** pour réduire les émissions de gaz à effet de serre du transport aérien et comme l'une des principales solutions jusqu'à 2050 pour la décarbonation de l'aviation long-courrier. En effet, les ruptures technologiques attendues à partir de 2035 ne concerneraient que les court et moyen-courriers. Les carburants durables d'aviation s'imposent alors comme une solution intéressante à même de se substituer aux carburants fossiles et de réduire fortement les émissions de gaz à effet de serre sans fondamentalement modifier la technologie des avions actuels.

1. Les carburants d'aviation durables : principal levier de décarbonation

L'étude *Waypoint 2050*⁸³ montre que la contribution des carburants durables d'aviation (SAF en anglais pour *Sustainable Aviation Fuel*) dans l'atteinte du net zéro émission en 2050 pour le transport aérien mondial se situe entre 50 % et 70 % selon les scénarios. Selon le rapport *Destination 2050*⁸⁴, l'utilisation des SAF pourrait permettre au transport aérien européen de réduire ses émissions de GES de 34 %. En France, la feuille de route du CORAC, publiée en décembre 2021, estime que 35 % à 52 % (selon les scénarios) de l'effort repose sur l'utilisation des SAF. Dans le rapport établi par le CAEP sur la faisabilité d'un objectif de long terme de neutralité carbone, quel que soit le scénario étudié les carburants durables pour l'aviation sont le principal levier de la décarbonation, représentant jusqu'à 55 % de réduction des émissions dans le scénario le plus volontariste.

On distingue deux types de SAF : les biocarburants, issus de la biomasse, et les carburants de synthèse (aussi appelés *e-fuels* ou *Power-to-Liquids*), produits à partir d'électricité, d'hydrogène et de CO₂ capté dans l'atmosphère. Ces deux catégories de SAF diffèrent par la matière première, la technologie et le coût de production : les biocarburants, de maturité technologique relativement élevée, sont 3 à 4 fois plus chers que le kérosène, tandis que les e-fuel, technologiquement moins matures, sont 4 à 10 fois plus chers.

Selon la filière, les SAF permettront des gains d'émissions de gaz à effet de serre d'environ 70 % à 95 % sur l'ensemble de leur cycle de vie par rapport au kérosène d'origine fossile, et lorsque leur production est associée à des critères de durabilité robustes, n'induisent pas de déforestation ou de captation de terres destinées à des cultures vivrières. Ils constituent l'un des leviers indispensables de la décarbonation du transport aérien à court, moyen et long terme.

Contrairement à l'hydrogène, les carburants d'aviation durables issus des filières de production certifiées ne requièrent pas d'adaptation de la chaîne carburant de l'avion ou de la logistique d'approvisionnement de l'aéroport : ils ont l'avantage d'être immédiatement utilisables dans les réservoirs, avec les moteurs actuels et sur n'importe quel avion. En effet, les SAF sont miscibles avec le kérosène d'origine fossile grâce à leurs propriétés physico-chimiques proches. Afin de garantir un fonctionnement sûr, ils doivent aujourd'hui être mélangés à une quantité au moins égale de kérosène (donc incorporés à

⁸³ <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/waypoint-2050/>

⁸⁴ <https://www.destination2050.eu/>

50 % maximum), car ils ne contiennent pas de molécules aromatiques (comme le benzène). Ces molécules sont présentes dans les carburants fossiles en proportion de 15 % à 30 % et participent à l'étanchéité du circuit carburant en se fixant à ses joints élastomères. En 2022, les filières certifiées de production de SAF peuvent être incorporées dans le réservoir jusqu'à 50 %. Mais la recherche sur la compatibilité des moteurs et avions avec un carburant 100 % SAF et les processus de certification correspondants progressent bien plus vite que la capacité de production de carburants durables : *a priori* il sera possible d'utiliser des SAF purs dans le futur, et il n'est pas anticipé que le pourcentage limite d'incorporation soit une barrière à leur développement à un quelconque moment. Des tests avec des carburants d'aviation composé de 100 % de biocarburants ont d'ailleurs déjà été conduits.

La France soutient et encourage donc le déploiement des SAF à l'échelle nationale, européenne et internationale. Leur utilisation majeure rentabilisera la création de filière de production encouragée sur le sol français.

2. Stimuler le développement de la filière en France

En 2017, l'**Engagement pour la croissance verte (ECV)** sur la mise en place d'une filière de biocarburants aéronautiques durables est signé par les Ministres de la Transition écologique et de l'Economie, et de la Secrétaire d'Etat aux Transports. Sur la base de l'ECV, les Ministères de la Transition écologique, de l'Economie et de l'Agriculture, ont défini en janvier 2020 une feuille de route nationale pour le déploiement des carburants d'aviation durables qui précise la stratégie que la France pourrait développer en matière de SAF à partir de 2025. Cette stratégie s'appuie sur cinq principes fondamentaux : le maintien d'un niveau optimal de sécurité des vols, l'assurance de la durabilité des carburants d'aviation produits en France, la viabilité économique de la filière, la mise en place de chaînes logistiques économes et la cohérence avec les initiatives supranationales.

La trajectoire de déploiement proposée dans **la feuille de route retient alors un objectif d'incorporation de carburant alternatif durable de 2 % en 2025 et de 5 % en 2030**. Cette feuille de route ayant une portée opérationnelle de court et moyen-termes complète **l'objectif de long-terme de 50 % de biocarburants en 2050 figurant dans la stratégie nationale bas-carbone (SNBC-2)**.

Pour encourager la production de SAF et leur mise sur le marché, la taxe incitative relative à l'incorporation de biocarburants (TIRIB) a été réformée pour intégrer des objectifs chiffrés d'incorporation des carburants alternatifs durables pour l'aviation. Ainsi, **depuis le 1^{er} janvier 2022**, le transport aérien est soumis à la taxe incitative à l'utilisation d'énergies renouvelables dans les transports (**TIRUERT**). L'article 266 *quindecies* du code des douanes, résultant de l'article 58 de la loi n° 2020-1721 du 29 décembre 2020 de finances pour 2021, **impose un objectif d'incorporation de 1 %** d'énergies renouvelables aux fournisseurs de kérosène sous peine de devoir payer une amende proportionnelle à la part manquante de biocarburants (125 € par hectolitre). Les fournisseurs de kérosène doivent donc, chaque année, atteindre un objectif d'incorporation de carburant aéronautique durable. **Seuls les biocarburants dits avancés, n'entrant pas en compétition avec l'alimentation humaine et animale, sont éligibles**. Cela permet de valoriser des filières vertueuses en termes de réduction de gaz à effet de serre et d'impact limité sur les milieux naturels (pas de déforestation induite). En introduisant un objectif d'incorporation de 1 % dès 2022 révisable annuellement, la TIRUERT permettra au secteur d'atteindre les objectifs d'incorporation de la feuille de route française pour le déploiement des biocarburants en aéronautique (2 % en 2025 et 5 % en 2030).

Par ailleurs, afin de rendre opérationnelle la feuille de route nationale et soutenir le développement d'une filière française de production de SAF, les Ministères de la Transition

écologique, de l'Economie et de l'Agriculture ont lancé le 27 janvier 2020 un **appel à manifestation d'intérêt (AMI) sur la production de biocarburants d'aviation durables**. Cet AMI, achevé le 31 juillet 2020, avait pour objectif d'identifier les projets d'investissement dans des unités de production de carburants de deuxième génération et de carburants de synthèse durables, envisagés par les acteurs économiques, et en particulier les projets d'investissement dans des unités de production de carburants durables à destination de l'aéronautique. Il a permis d'identifier 15 projets industriels innovants de production de carburants durables, avancés ou de synthèse, à destination de l'aéronautique. Ces projets émanent pour la grande majorité de consortiums regroupant différents industriels.

Sachant que le 4^{ème} Plan d'Investissements d'Avenir (PIA4) prévoit de mobiliser 3,4 milliards d'euros de financements sur des stratégies d'investissements prioritaires pour la transition écologique sur la période 2021/2023, ce cadre a été retenu pour porter les investissements nécessaires à l'atteinte des objectifs de la feuille de route nationale pour le déploiement des carburants aéronautiques durables à l'horizon 2025. La stratégie d'accélération sur les « Produits biosourcés et biotechnologies industrielles, carburants durables » cible notamment les carburants aéronautiques durables : le travail interministériel de cette instance pilotée par le secrétariat général pour l'investissement (SGPI) doit servir de support aux décisions car il ressort de l'analyse que le déploiement industriel de la filière nécessitera un soutien public important sur un temps long.

Les travaux de la stratégie d'accélération ont permis la mise en place d'une première mesure d'aide à l'investissement à court terme via le lancement d'un appel à projet (AAP) le 29 juillet 2021 avec un financement PIA4. Cet AAP intervient à deux niveaux : d'une part pour les travaux d'ingénierie préalables à la décision d'investissement visant des projets mettant en œuvre des procédés avancés de fabrication déjà matures ; et d'autre part pour des travaux de démonstration visant des projets dont le niveau de maturité est plus faible.

Une enveloppe maximale de 200 M€ a été prévue pour aider au financement des études d'ingénierie et démonstrateurs retenus dans le cadre de cet AAP. A l'issue de la première relève des dossiers au mois d'octobre 2021, le ministre délégué aux transports a annoncé le soutien à deux projets portés respectivement par Engie Thermique France (Dunkerque) et Hygen France (Territoire de Gardanne-Meyreuil). Une deuxième relève des dossiers a eu lieu au mois d'avril 2022, la clôture de l'AAP ayant été repoussée au 30 septembre 2022. L'étape suivante est la mise en place d'une mesure de soutien destinée à l'investissement productif afin de disposer sur le territoire national des quantités disponibles de SAF permettant d'atteindre en 2025 l'objectif de 2 % d'incorporation.

Les obstacles à lever pour un recours massif aux SAF restent nombreux. Le producteur doit être en capacité de fabriquer ces produits en quantité industrielle, ce qui nécessite d'avoir accès de manière pérenne à un outil de production spécifique ainsi qu'aux ressources adaptées (de qualité adéquate et en quantité suffisante pérenne) à la technologie de transformation retenue (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids* HEFA, *alcohol-to-jet fuel* ATJ, *Gazéification*, *Power-to-Liquid*, etc.). Le producteur doit également pouvoir orienter cette production vers le secteur de l'aviation pour que le consommateur (i.e. les compagnies aériennes) puisse accéder au produit sur son/ses lieux d'activité.

Le consommateur doit aussi avoir la capacité d'acheter ce produit qui présente un surcoût élevé aujourd'hui (de par la rareté actuelle des installations de production et un processus de fabrication plus complexe qu'un carburant d'origine fossile). Le facteur coût est très dimensionnant pour les compagnies aériennes, car les coûts de carburants représentent aujourd'hui environ 30 % de leurs coûts d'exploitation. A ce titre, il faut noter que toutes les technologies de transformation disponibles pour les SAF permettent la co-production de différents produits énergétiques ou valorisables en chimie, ce qui permet aux producteurs d'avoir accès à différents marchés à plus ou moins haute valeur ajoutée, et

ainsi de bénéficier de dynamiques économiques différentes selon les besoins sur une période donnée.

L'ensemble des facteurs listés ci-dessus, sans oublier les questions de logistique associées (mélange, stockage et distribution vers les points de consommation de ces carburants), sont donc clés et font partie des points conditionnant le succès du développement d'une filière de production nationale de SAF.

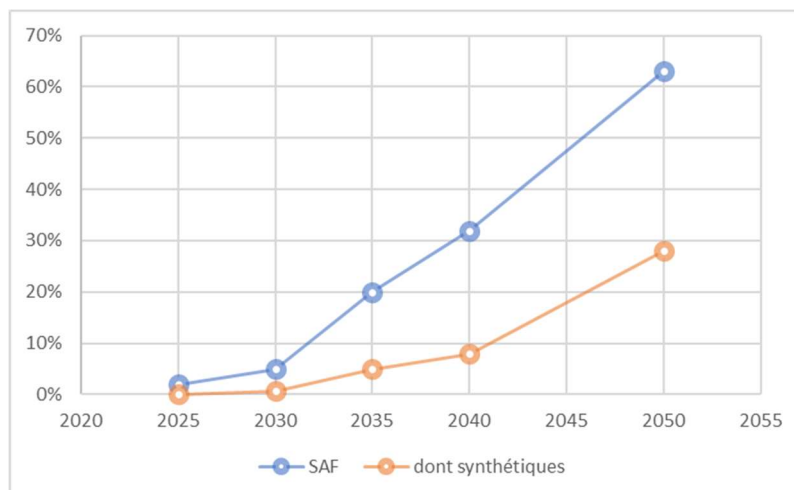
Il est important de rappeler que les différents travaux menés par la France ces dernières années ont permis de préciser le périmètre sur lequel il semble pertinent d'orienter les efforts de soutien au développement de la filière de production française, en lien avec la maturité de certaines technologies et les infrastructures disponibles, les intrants disponibles sur le territoire national, le tout avec un phasage sur les 10 prochaines années et avec comme objectif global d'assurer la souveraineté énergétique du pays. Ce travail se poursuit dans le cadre d'un groupe de travail dédié de la stratégie d'accélération sur les « Produits biosourcés et biotechnologies industrielles, carburants durables » pour préparer le déploiement du soutien à la phase d'industrialisation dans le cadre notamment de France 2030.

3. A l'international, le développement de la filière des SAF est reconnu comme une nécessité

Dans sa Stratégie de mobilité durable et intelligente, publiée début décembre 2020, la Commission européenne souligne la nécessité d'accorder à l'aérien un accès prioritaire à « d'autres carburants liquides et gazeux renouvelables et à faible teneur en carbone, faute de systèmes de propulsion alternatifs appropriés à court terme ».

3.1 ReFuel EU Aviation : un cadre réglementaire européen en cours de construction

L'accélération de l'utilisation de carburants durables et à faible teneur en carbone pour le transport est une priorité du Pacte vert européen, lancé par la Commission européenne en décembre 2019 et qui constitue la stratégie mise en œuvre par l'Union Européenne pour atteindre la neutralité climatique à l'horizon 2050. Dans le cadre de son projet de paquet « Fit for 55 » publié le 14 juillet 2021, la Commission européenne a présenté le règlement « Refuel EU » dans lequel une trajectoire progressive d'incorporation des SAF est proposée pour accompagner le développement des carburants d'aviation durables, comme présenté en Figure 3. Elle intègre un sous-mandat qui porte sur la part de « carburants synthétiques » (e-fuel) afin de soutenir le développement de ces carburants, 2 à 3 fois plus chers que les biocarburants mais critiques pour la décarbonation du secteur sur le long-terme. Cette trajectoire est définie au regard de l'objectif fixé dans le Pacte vert de réduire les émissions d'au moins 55 % d'ici 2030 et d'atteindre la neutralité carbone en 2050, ce qui suppose de réduire de 90 % les émissions dues au secteur des transports.



	2025	2030	2035	2040	2050
SAF	2 %	5 %	20 %	32 %	63 %
dont synthétiques	0 %	0,70 %	5 %	8 %	28 %

FIGURE 2 : TRAJECTOIRE D'INCORPORATION DES SAF PROPOSEE PAR LA COMMISSION EUROPEENNE (ANNEXE I, PROPOSITION REGLEMENT *REFUEL EU AVIATION*)

Le règlement s'appliquera aux fournisseurs de carburants, aux aéroports de l'Union et aux compagnies aériennes. Les fournisseurs de carburants devront fournir des carburants d'aviation durables et synthétiques selon des niveaux croissants avec un objectif d'incorporation de 63 % de SAF en 2050, dont 28 % de carburants synthétiques.

Une obligation d'avitaillement pèsera sur les compagnies aériennes, y compris non européennes, pour qu'elles s'approvisionnent d'un volume minimum de carburant au départ des aéroports de l'Union européenne, volume qui représente au moins 90 % de la quantité de carburant nécessaire pour le vol à faire. Cette disposition a pour but de limiter le sur-empont, stratégie qui consiste à s'approvisionner là où le carburant est moins cher (souvent hors de l'UE) et où la réglementation environnementale est moins ambitieuse, ce qui entraîne une augmentation des émissions de GES (charge transportée plus importante et/ou multiplication des vols).

La France participe activement aux discussions engagées sur la scène européenne autour du projet de règlement *ReFuel EU Aviation*, et soutient cette initiative qui doit permettre de disposer, à l'échelle européenne, d'un cadre commun partagé pour amorcer le déploiement à grande échelle des carburants aéronautiques durables. Sous présidence française de l'Union Européenne, une orientation générale a été obtenue lors du Conseil des ministres des Transports du juin 2022.

3.2 L'Alliance européenne industrielle pour les carburants renouvelables et bas carbone de l'aérien et du maritime

Dans son paquet « *Fit for 55* », la Commission européenne a présenté des initiatives politiques ambitieuses pour l'aviation et le transport maritime. En particulier, les initiatives *ReFuelEU Aviation* et *Fuel EU Maritime* encouragent l'incorporation croissante de

carburants durables dans ces secteurs, produits qui se mélangent avec les carburants conventionnels existants et peuvent être utilisés dans les moteurs actuels. La Commission estime que la demande en carburants durables à l'horizon 2050 sera de 28,5 Mtep dans l'aviation et de 42,6 Mtep dans le secteur maritime. Aujourd'hui pourtant, les capacités de production de ces carburants sont faibles, voire inexistantes en Europe et sur le territoire national.

En complément des mesures réglementaires en cours de négociation, pour stimuler la production, la distribution et l'utilisation des carburants aéronautiques et maritimes durables et bas carbone, la Commission européenne a lancé le 6 avril 2022 une nouvelle alliance industrielle spécialisée : **l'alliance industrielle autour des carburants renouvelables et bas-carbone** (*Renewable and Low-Carbon Fuels Value Chain Industrial Alliance*, RLCF). L'un des principaux objectifs de l'alliance sera de remédier au manque de disponibilité et d'accessibilité financière des carburants durables pour les transports aériens et maritimes afin de réduire les émissions, et ce, sans qu'il soit nécessaire de déclasser les flottes et les infrastructures existantes. Le but est de créer une plateforme pour mobiliser les investisseurs privés et publics, renforcer la coopération tout au long de la chaîne de valeur, et réduire les risques d'investissement.

La France, comme indiqué dans sa réponse à la consultation menée à l'automne 2021 par la Commission européenne, soutient cette initiative à laquelle elle participe activement.

3.3 L'OACI reconnaît l'importance des SAF pour la décarbonation du secteur aérien

Au niveau international, l'OACI reconnaît dans sa résolution A39-2 que l'introduction des SAF est une mesure clef pour atteindre l'objectif de croissance neutre en carbone 2020 et encourage les Etats à accélérer leur développement. L'Assemblée de l'OACI demande aux Etats d'envisager le recours à des mesures incitatives pour encourager le déploiement des SAF et appuyer la recherche et le développement dans le domaine, et d'adopter des mesures pour assurer la durabilité des SAF et de leur production.

Le CAEP, via son groupe de travail sur les carburants (*Fuel Task Group*, FTG) travaille à l'élaboration de processus et de méthodologies pour la prise en compte des SAF dans le cadre du régime de compensation et de réduction de carbone pour l'aviation (CORSIA). Lors du cycle CAEP-12 en février 2022, le CAEP a validé les modalités de calcul des émissions de gaz à effet de serre sur le cycle de vie et a proposé de publier les modifications à apporter au document de l'OACI « Critères de durabilité pour les carburants admissibles au CORSIA », qui définit des critères relatifs aux réductions du CO₂ émis en cycle de vie et à d'autres thématiques environnementales et socio-économiques que doivent respecter ces carburants pour être considérés comme « durables ». Ce document définit un critère de réduction minimale des émissions de CO₂ par rapport au kérosène qu'un SAF doit apporter pour être éligible (à savoir au moins 10% par rapport à la référence du kérosène, prise égale à 89 gCO₂e/MJ), ainsi que des critères environnementaux additionnels et socio-économiques à respecter pour être considérés comme « durables ».

Au sein de l'OACI et du CAEP, la France promeut aussi activement le déploiement des carburants aéronautiques durables, d'une part pour favoriser leur prise en compte dans le CORSIA et, d'autre part, dans la perspective de l'atteinte d'un objectif de neutralité carbone en 2050 pour l'aviation internationale. Les SAF constituant le principal levier pour l'atteinte de cet objectif. C'est pourquoi, la 41^{ème} Assemblée a chargé le Conseil de convoquer dès 2023 la 3^{ème} Conférence sur l'aviation et les carburants durables (CAAF/3) en vue de réexaminer la Vision 2050 de l'OACI sur les « carburants d'aviation durables », appellation qui intègre désormais les autres sources d'énergie plus propres, comme l'hydrogène, ainsi que les carburants d'aviation à moindre émission de carbone (LCAF).

Lors des conférences de l'OACI précédentes dédiées aux biocarburants aéronautiques (en 2009 à Rio, en 2017 à Mexico) et des séminaires connexes (dont le dernier en mars 2019 à Montréal), la France a ainsi pu communiquer sur les initiatives portées à l'échelon national et insister, aux côtés de ses partenaires européens, sur les enjeux prioritaires que constituent la durabilité de ces carburants et la rentabilité économique de leur utilisation. Dans le cadre de la CAAF/3, la France plaidera pour l'adoption d'une trajectoire de déploiement quantifiée ambitieuse au niveau mondial.

4. La recherche se poursuit sur les effets non-CO₂

Les effets non-CO₂ de l'aviation sont encore mal connus. Au cours de la dernière décennie, la Commission européenne et les États membres ont lancé les recherches nécessaires pour approfondir les connaissances scientifiques sur ces derniers. Entre-temps, les développements scientifiques et l'avancement des outils de régulation des émissions de CO₂ ont permis de concevoir plusieurs options pour les politiques relatives aux effets autres que le CO₂.

La France, par l'intermédiaire du CORAC, a développé des projets de recherche scientifiques et industriels afin d'accroître les connaissances et de mieux appréhender l'impact des diverses émissions à haute altitude dues à l'aviation. Ces efforts ont été récemment étendus à l'impact des carburants nouvellement considérés comme l'hydrogène ou le carburant d'aviation durable. En effet, ces combustibles devraient réduire fortement l'impact non CO₂ de l'aérien dans le futur.

Parmi les efforts de recherche soutenus par les pouvoirs publics et menés en France, il y a d'abord la volonté de comprendre les processus physico-chimiques fondamentaux qui se produisent en haute altitude. À cette fin, le projet de recherche *Climaviation*, financé par la DGAC sur l'enveloppe de 1,5 M€ du plan France Relance, est mené par l'Office national des études et de recherches aérospatiales (ONERA), et l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL). L'ambition de cette chaire « Aviation & Climat », lancée début 2021, est de consolider le socle de connaissances scientifiques sur les contributions des différents processus physico-chimiques des effets non-CO₂. Elle a pour objet d'étudier notamment la formation de traînées de condensation, la formation d'ozone et les interactions des aérosols avec les nuages.

Ensuite, les projets de recherche spécifiques aux nouveaux combustibles, VOLCAN pour les carburants d'aviation durables dits « *drop-in* » (i.e. directement utilisables dans les moteurs actuels et sans changement des procédures d'avitaillement) et CIRRUS H2 pour l'hydrogène, permettront de concevoir des réglementations et des technologies minimisant notre impact (CO₂ et non-CO₂) sur le climat. En effet, non seulement l'utilisation des SAF est le principal levier de décarbonisation du secteur aérien à court et long terme, mais l'utilisation de biocarburants et de *Power to Liquid (PtL)*, sans aromatiques, permettrait également, à ce stade des connaissances scientifiques, de réduire les effets non-CO₂.

Au niveau de l'OACI, le CAEP poursuit ses travaux sur l'évaluation du rôle de la composition du carburant dans les caractéristiques d'émission. La France soutient la poursuite de ces travaux dans le cycle de travail actuel (CAEP/13, 2022-2025) afin de mieux comprendre comment la composition du carburant pourrait être réglementée et ainsi mieux contrôler les émissions de particules.

Partie 4 : Améliorer la gestion du trafic aérien et de l'exploitation des aéronefs

L'optimisation des procédures de navigation aérienne, des opérations au sol et des infrastructures aéroportuaires constitue un des quatre leviers de réduction des émissions du secteur. Le rapport *Destination 2050* estime que ce dernier permettrait de réduire de 6 % les émissions de CO₂ du secteur aérien européen d'ici 2050. Au niveau européen, un ensemble d'initiatives est en cours dans le cadre du programme « Ciel unique européen » et son volet technologique, le programme SESAR (*Single European Sky Air traffic management Research*). La France, notamment via la Direction des services de la navigation aérienne (DSNA) de la DGAC, s'implique largement dans ces initiatives liées à l'amélioration de la gestion du trafic aérien. La DSNA porte de nombreux projets d'optimisation des opérations en vol sur le territoire français. D'autres solutions sont immédiatement déployables, en particulier concernant la décarbonation des opérations au sol.

1. En Europe : l'initiative Ciel unique européen de l'UE et SESAR

Instituée en 2004 par un paquet de quatre règlements, l'initiative « Ciel unique européen » vise à accroître l'efficacité de la gestion du trafic aérien en réduisant la fragmentation de l'espace aérien européen (entre les Etats membres, utilisation à des fins civiles et militaires). D'ici 2035, elle permettra de réduire les temps de vol, d'améliorer le niveau de sécurité et de réduire de 5 à 10 % les émissions de gaz à effet de serre dues à l'aviation⁸⁵. Après un premier paquet de règlements du Parlement européen et du Conseil en 2004 et de nombreux règlements d'exécution de la Commission, le « ciel unique européen II » a été adopté en 2009, suivi de nouvelles mesures d'exécution.

Le 22 septembre 2020, dans le cadre du Pacte vert européen, la Commission européenne a proposé une mise à niveau du cadre réglementaire relatif au ciel unique européen (« refonte » du paquet de 2004/2009 et modification du règlement UE 2018/1139 dit « règlement de base AESA »). Parmi les objectifs annoncés, la Commission a mis en avant celui de mettre en place des trajectoires de vol plus efficaces et renforcer les capacités de l'AESA d'agir comme organe d'évaluation des performances du ciel unique européen. En juin 2021, le Conseil a adopté son orientation générale et le Parlement a adopté une position en première lecture. La proposition modifiée est en phase de trilogue depuis juillet 2021.

En parallèle, l'entreprise commune SESAR (*Single European Sky Air traffic management Research*), mise en place en 2007, est le volet technologique et industriel du ciel unique européen. Elle prend la forme d'un partenariat public-privé entre l'Union européenne, Eurocontrol et les principaux industriels du secteur aéronautique. A l'issue de la phase de développement SESAR 1 (2009-2016), dont le coût total est estimé à 3,7 milliards d'euros réparti entre l'Union européenne, Eurocontrol et les partenaires du secteur (notamment prestataires de services de navigation aérienne et transporteurs aériens), un catalogue de 63 solutions SESAR a été rendu public. Celles-ci sont complétées par 41 solutions après la

⁸⁵ La réduction de 5-10 % fait partie des objectifs officiels concernant le ciel unique européen et est inscrite dans le plan directeur ATM européen (ATM Master Plan), mais son origine n'est pas claire. Les études récentes, comme *Destination 2050*, attribue aux leviers opérationnels une réduction de 6 % au niveau européen. Au niveau national, la feuille de route du CORAC leur attribue une contribution comprise entre 5 % et 11 % selon les scénarios.

première phase de SESAR 2020. La phase de déploiement SESAR 2020 (à partir de 2016), pourrait coûter quelque 30 milliards d'euros, financés par le secteur de l'aviation (90 %) et l'Union européenne (10 %).

Dans le « plan directeur pour la gestion du trafic aérien » (*ATM Master Plan*), adopté et mis à jour régulièrement par le Conseil d'administration de l'entreprise commune SESAR, en dernier lieu en 2020, sont définis des indicateurs de performance clés et des objectifs pour chaque domaine : sécurité, environnement, capacité et efficacité économique. Les solutions du programme SESAR visent une amélioration dans chacun de ces domaines et à chaque étape du vol (cf. Figure 3).

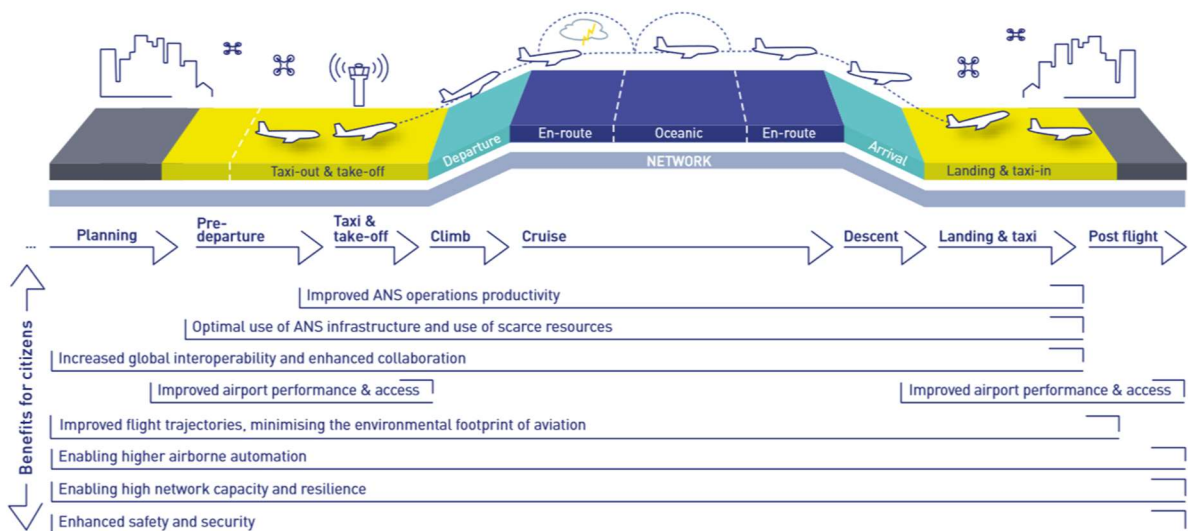


FIGURE 3 : AMELIORATIONS ATTENDUES POUR CHAQUE ETAPE DU VOL (SOURCE : *EUROPEAN ATM MASTER PLAN*, EDITION 2020)

En ce qui concerne l'environnement, l'estimation des économies potentielles totales de carburant et d'émissions de CO₂ par vol est présentée dans la Figure.

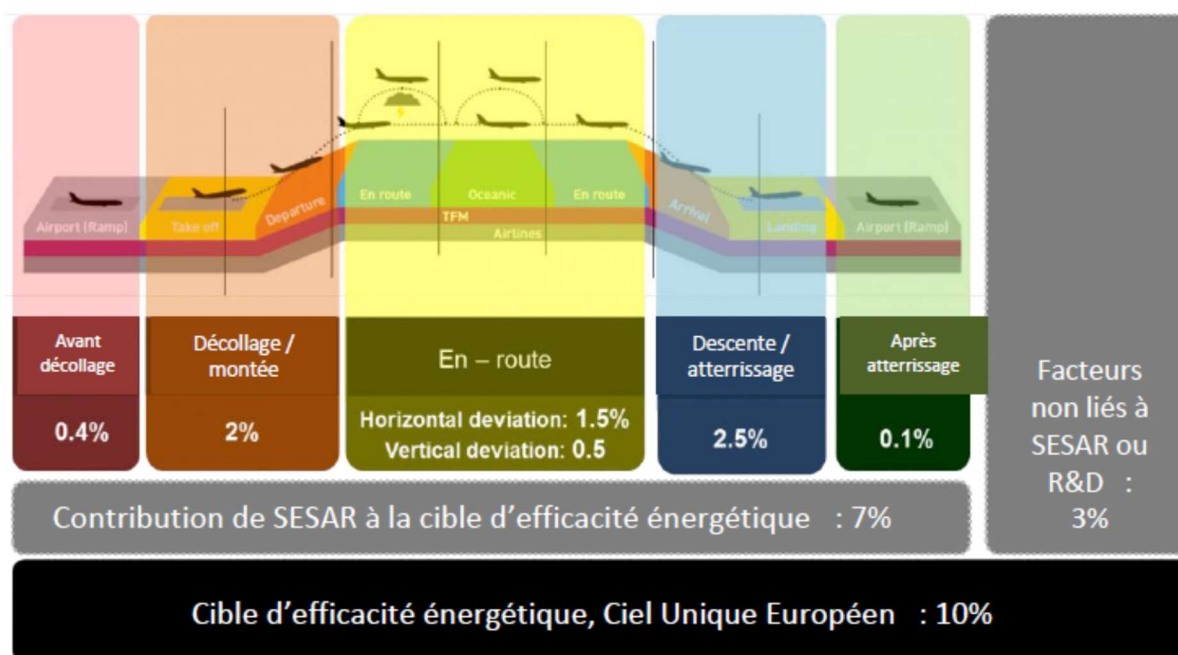


FIGURE 5 : CONTRIBUTION DU CIEL UNIQUE EUROPEEN ET DE SESAR A LA CIBLE D'EFFICACITE ENERGETIQUE

Ainsi, le programme SESAR examine chaque phase du vol et de l'utilisation de l'espace aérien et voit quelles technologies peuvent être utilisées pour éliminer les inefficacités en matière de carburant. Il investit également dans la synchronisation des échanges de données et des opérations au sol et en vol pour garantir un impact maximal. L'ambition est de réduire d'ici 2035 les émissions moyennes de CO₂ par vol de 0,8 à 1,6 tonne, soit une diminution de 5 à 10 % par rapport à 2012, en tenant compte de l'ensemble du vol, de la porte d'embarquement à la porte de débarquement, y compris à l'aéroport.

Dans le cadre d'Horizon Europe, le nouveau programme-cadre de recherche et d'innovation de l'Union européenne couvrant la période 2021-2027, la Commission européenne, dans le cadre d'un nouveau règlement européen établissant les entreprises communes dans le cadre d'Horizon Europe (règlement UE 2021/2085 du 19 novembre 2021) a prévu d'établir des partenariats dans différents domaines stratégiques dont celui du trafic aérien. Le nouveau partenariat ATM, appelé SESAR 3, a officiellement débuté le 14 décembre 2021 ; il associe la Commission européenne, Eurocontrol et une cinquantaine de partenaires du secteur et s'appuiera sur la dynamique des résultats de SESAR 2020 pour créer un « ciel européen numérique » (*Digital European Sky*), plus inclusif, résilient et durable. Il est prévu qu'il investira environ 1,6 milliard d'euros d'ici 2030. La DSNA française en est l'un des membres fondateurs. Les premiers projets devraient démarrer fin 2022 permettant ainsi de prendre le relais de projets SESAR 2020.

2. En France : favoriser une meilleure gestion de l'espace aérien et optimiser les trajectoires

En France, la DSNA est très impliquée dans tous les programmes permettant l'optimisation des trajectoires et la fluidification du trafic. Pour compenser le manque de recettes dû à la réduction du trafic pendant la pandémie, la DGAC a contracté un emprunt d'Etat de plus de deux milliards d'euros sur les deux années 2020 et 2021. Cet emprunt a permis de

sécuriser les développements des principales performances de modernisation des infrastructures et des systèmes de navigation aérienne de la DSNA œuvrant à la décarbonation du secteur.

De plus, la DSNA va entamer une démarche d'accréditation visant à démontrer la maîtrise de ses engagements environnementaux.

2.1 Participer activement au FABEC

Le FABEC (*Functional Airspace Block Europe Central*) est l'un des neuf blocs fonctionnels d'espace qui constituent le Ciel unique européen. Avec ses six Etats (France, Allemagne, Suisse et Benelux), l'espace aérien couvre plus de 2 millions de kilomètres carrés et dessert les aéroports les plus fréquentés en Europe. La prise en compte des exigences environnementales fait partie des objectifs du FABEC. Depuis sa création, et dans le cadre de l'application des règlements européens redevance et performance, les Etats du FABEC ont choisi de fixer en commun des objectifs de performance environnementale au niveau du FABEC et d'en assurer un pilotage et un suivi collectif sous l'égide d'un comité finances et performance. En 2020, sous l'impulsion de la DSNA, le FABEC a par ailleurs créé un *Standing Committee* « Environnement » (*SC ENV*) chargé notamment de piloter les indicateurs de performance environnementale et de donner une vision claire de leurs interprétations, de promouvoir les performances environnementales du FABEC au niveau européen et de contribuer aux travaux européens visant à l'amélioration de ces performances. Au sein du FABEC, la DSNA est très active en la matière pour apporter son expertise.

Le FABEC promeut notamment le *Free Route* et la mise en place d'une gestion militaire-civile flexible avancée de l'espace aérien (*Flexible Use of Airspace, FUA*), la levée des restrictions de routes offrant des routes plus courtes avec des profils verticaux optimisés (montées et descentes continues), une efficacité des vols dans le plan horizontal (HFE) améliorée.

2.2 Evolutions de structure de l'espace aérien : *Free route*, concept FUA et dynamicité

Le ***Free Route Airspace*** (FRA) est un projet issu du programme européen SESAR. La mise en œuvre complète du *Free Route* dans l'espace aérien européen, a minima au-dessus du FL 305 (9 300 mètres), est prévue au 31 décembre 2025. Elle garantira une connectivité avec les approches et permettra des planifications directes transfrontalières. Dans un espace *Free Route*, les compagnies sont incitées à planifier leur vol sur les routes les plus directes entre un point d'entrée et un point de sortie définis. Ce nouveau concept déployé à l'échelle européenne permettra d'offrir de meilleures trajectoires de vol et vise à terme à réduire les émissions de CO₂ de 10 000 tonnes par jour en Europe.

En France, depuis le 2 décembre 2021, trois cellules gérées par le CRNA Ouest, le CRNA Sud-Ouest et le CRNA Nord, couvrant près de 50 % de l'espace aérien supérieur français, offrent du *Free Route* au-dessus du FL 195 (environ 6000 mètres). La mise en œuvre de cette démarche fait suite à plusieurs années de travail, notamment pour réorganiser les espaces aériens et faire évoluer les systèmes techniques. Il a nécessité une coordination étroite au sein du FABEC et avec le *Network Manager* d'EUROCONTROL, ainsi qu'avec les fournisseurs de services des plans de vol pour les compagnies (CFSP).

De plus, le déploiement de la gestion flexible de l'espace (*Flexible Use of Airspace, FUA*), préalable à un *Free Route* performant, a été rendu possible grâce à une excellente collaboration avec la Défense. En effet, la France est également à la pointe dans l'optimisation de l'utilisation de l'espace entre civils et militaires. Le concept FUA permet un partage dynamique de l'espace au plus proche des besoins des Armées. Les routes pour les compagnies aériennes sont optimisées et contribuent à une meilleure efficacité environnementale des opérations aériennes.

Le concept de **dynamicité** de la gestion de l'espace est utilisé dans de nombreux projets depuis le début de la crise sanitaire. En effet, cela permet de proposer une performance optimisée en fonction du niveau de trafic. On trouve ce concept dans le projet de RAD dynamique (liste de contraintes en altitude et vitesse pour gérer les flux) en expérimentation avec Eurocontrol, ainsi que dans des projets de recherche avec des industriels pour définir des « espaces temps verts ».

D'autre part, le projet **Albatross**, coordonné par Airbus dans le cadre du programme SESAR, a pour objectif de conduire une série de vols tests dont l'ensemble de la trajectoire est optimisé, du décollage à l'atterrissage, grâce aux innovations techniques et opérationnelles disponibles. Le projet vise ainsi à généraliser dès que possible dans l'espace aérien européen des vols plus économiques en kérosène en roulant sur les taxiways sur un moteur ou en volant en croisière à un niveau de vol optimal, et des vols moins bruyants grâce à des trajectoires de montée et de descente continues, évitant les paliers et optimisant la vitesse. La DSNA participe activement au projet en menant notamment des campagnes d'essais pour évaluer des montées et des descentes continues et en optimisant des liaisons city-pairs.

La complexité de ces améliorations de trajectoire réside dans l'optimisation globale visée par la DSNA. Il n'est en effet pas possible d'ajouter des optimisations « vol par vol » car bien souvent les améliorations d'un vol pénalisent un autre vol. C'est la recherche de flux de trajectoires optimisés qui doit permettre de proposer des opérations plus performantes d'un point de vue environnemental.

2.3 Amélioration de la disponibilité et de la gestion des données

D'autres évolutions techniques de modernisation des outils des contrôleurs permettront de mieux optimiser la route ainsi que les profils de vol. Le programme **4-Flight**, développé par la DSNA et par l'industriel Thales, permet de moderniser les systèmes français de navigation aérienne pour les centres en-route en intégrant un système avancé de traitement des données de vols (Coflight). Le CRNA Est et le CRNA Sud-Est sont les premiers centres équipés de ce système innovant *stripless* (sans strips papiers) mis en service respectivement les 5 avril et 6 décembre 2022. Coflight met à jour en temps réel les informations du plan de vol par la prise en compte des instructions de contrôle et optimise la trajectoire du vol, rendant possible des économies d'émissions carbone, et une meilleure sécurisation des vols. L'Union européenne, reconnaissant les bénéfices de ce programme innovant à l'échelle du réseau européen, a cofinancé une partie de ces investissements.

Par ailleurs, les nouvelles technologies de traitement de données de masse, ou Big Data, utilisées par des algorithmes d'intelligence artificielle (IA) permettent une approche différente de la mesure de la performance. Aujourd'hui la mesure de la performance des services de la navigation aérienne est réalisée à partir des données RADAR soit principalement des données de position en trois dimensions, et de vitesse. Grâce aux données issues des algorithmes d'IA, les données RADAR seront enrichies de données de consommation des avions. Cela ouvre, pour les services de contrôle des perspectives nouvelles d'analyse de leur performance, où les inefficacités seraient mieux identifiées, quantifiées et visualisées. L'association d'outils Big Data, d'IA et de business intelligence est une opportunité d'axes de progression vers un «  co-pilotage » de la performance environnementale des centres de contrôle aérien qui seront mieux en mesure d'étudier les mesures opérationnelles visant à éliminer les surconsommations de carburant des avions.

La DSNA a lancé le projet FEAT qui vise à exploiter les données des vols et leurs contextes à l'aide de technologies Big Data afin d'améliorer l'analyse et le pilotage de la performance environnementale des vols.

Pour disposer d'un meilleur suivi et d'une évaluation plus précise de l'impact environnemental des opérations aériennes, la DSNA travaille sur un outil utilisant de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique (machine learning) appelé **ACROPOLE**. Cet outil agrège aux données radar du vol (position, altitude, vitesse) des données enrichies (configuration aérodynamique, débit carburant instantané...). À terme, l'outil **ACROPOLE** pourrait être utilisé pour visualiser en temps réel et en temps différé la performance des vols.

2.4 Déployer les procédures d'approche en descente continue

L'amélioration de la gestion du trafic passe aussi par des évolutions de procédures d'approche avec la généralisation de procédures satellitaires de nouvelle génération qui rendent possible le déploiement généralisé des descentes continues.

L'approche en descente continue (CDO) consiste pour un aéronef à descendre de manière régulière plutôt que d'effectuer des paliers, en réduisant ainsi la sollicitation des moteurs, ce qui permet de limiter les nuisances sonores et réaliser des économies de carburant. Son déploiement en H24 sur les principaux aéroports français est l'un des leviers phares de la stratégie environnementale de la DSNA pour limiter les impacts environnementaux (bruit et émissions de CO₂) à l'horizon 2025.

A Paris-Charles-de-Gaulle, les CDO sont utilisées depuis 2016 sur certaines périodes (vols de nuit et périodes de moindre trafic notamment). La généralisation H24 des CDO à Paris-CDG est à l'étude. Une expérimentation a été menée entre janvier et avril 2021, période pendant laquelle 756 avions (vols commerciaux) ont participé en situation réelle aux évaluations organisées à l'arrivée d'une des deux pistes du doublet nord de l'aéroport. Une baisse de consommation de carburant, et donc d'émissions CO₂ a été mise en évidence dans le cadre du projet ALBATROSS, du programme SESAR. Cette analyse prévoit un gain de -7 % en moyenne sur les phases d'approche grâce au déploiement des descentes continues. Au vu de l'impact sur les populations survolées, la mise en service du projet ne pourra avoir lieu qu'à l'issue d'un processus de concertation et de consultation de l'ensemble des parties prenantes. Ce dispositif est aussi en cours d'étude pour les approches de l'aéroport de Paris-Orly.

3. Réduire les émissions de l'aviation au sol

Des gains importants peuvent être obtenus dans l'amélioration de la gestion du trafic au sol et dans l'électrifications des opérations au sol.

3.1 Optimiser le roulage des aéronefs au sol

Des solutions existent pour permettre un roulage des avions au sol moins polluant. La première action porte sur l'optimisation des temps de roulage à travers des parcours et des procédures optimisés pour limiter les trajets et les temps d'attente. Le développement du « *Collaborative Decision Making* » avec un engagement de tous les acteurs aéroportuaires permet une optimisation toujours plus poussée. Dans les plus gros aéroports français (Paris CDG, Orly, Lyon, Nice), une gestion locale des départs (GLD) a été mise en œuvre. L'objectif est de réduire au maximum les attentes avant décollage en optimisant le moment où les avions quittent leur point de stationnement. Cela a conduit pour Paris CDG à des réductions de l'ordre de 10 % des temps de roulage ce qui correspond à une diminution annuelle brute des émissions de CO₂ d'environ 20 000 tonnes.

Une autre action consiste à mettre en œuvre des procédures de roulage avec un ou plusieurs moteurs éteints. Ce « roulage N-1 moteur(s) » consiste à ne faire fonctionner qu'un moteur pour les avions bimoteurs ou que 2 moteurs pour les aéronefs quadrimoteurs, principalement à l'arrivée. Ce type de procédure est déjà déployé par

certaines compagnies, permettant ainsi une consommation réduite de kérosène et des réductions d'émissions. Elles doivent cependant être effectuées dans des conditions optimales de sécurité du transport aérien.

Une autre solution consiste à remorquer l'avion entre la porte du terminal et le point de décollage ou d'atterrissage. Le « taxibot », développé par la société TLD, est un tracteur contrôlé par le pilote de l'avion, permettant d'effectuer l'opération de « *taxiing* » avec les réacteurs éteints à une vitesse équivalente à celle de l'avion. Il est actuellement disponible avec un moteur hybride diesel-électrique, mais une version purement électrique est en cours de développement. Déjà utilisé sur les aéroports de Schiphol et de Delhi, il devrait prochainement arriver sur la plateforme de Paris-Charles-de-Gaulle dans le cadre du projet OLGA. Une autre technologie développée par la joint-venture Safran/Honeywell permet aussi le roulage au sol de l'avion sans recourir aux réacteurs principaux : l'EGTS, « *electric green taxiing system* ». Cette solution consiste à intégrer un moteur électrique dans chaque train d'atterrissage principal. Avec une réduction de la consommation en fuel de 50 %, les émissions de CO₂ baisseraient de l'ordre de 60 %, de NOx de 40 %, et de HC de 30 %.

3.2 L'électrification des tarmacs

Un levier significatif de décarbonation des tarmacs réside dans la limitation des temps d'utilisation des groupes auxiliaires de puissance (APU) lors du stationnement des aéronefs. Ce petit moteur, situé à l'arrière du fuselage, pourvoit aux besoins de l'avion en énergie électrique et en climatisation lorsque les moteurs de l'avion sont éteints. Des moyens de substitution à l'APU existent : des moyens fixes (prises 400 Hz et PCA pour la climatisation) et des moyens mobiles (GPU pour l'électricité et ACU pour la climatisation), permettant de réduire considérablement les émissions. La DGAC a lancé en 2021 une consultation pour une généralisation de la limitation du temps d'utilisation des APU. Actuellement seules les plateformes de Paris, Nice et Nantes sont réglementées, l'objectif est d'étendre par arrêté ces réglementations aux principaux aéroports français (plus de 20 000 mouvements d'aéronefs de plus de 20 tonnes par an) et de réduire autant que possible les temps d'utilisation des arrêts existants.

L'électrification des tarmacs, par le déploiement de réseaux 400 Hz dans les aéroports, constitue une priorité de la transition énergétique des aéroports. Au niveau européen, dans le cadre du projet de règlement sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs (AFIR) du paquet « *Fit for 55* », les gestionnaires d'aéroports appartenant au Réseau transeuropéen de transport (RTE-T) devront assurer l'approvisionnement en électricité et en climatisation des aéronefs stationnaires. Cette obligation concernerait en l'état de la proposition de la Commission européenne, les opérations de transport aérien commercial, au 1^{er} janvier 2025 pour tous les postes fixes, puis au 1^{er} janvier 2030, pour tous les postes au large. Afin d'atteindre l'objectif de 2025, l'utilisation de groupes électrogènes (GPU) alimentés au diesel est autorisée. Cependant, à compter du 1^{er} janvier 2030, l'électricité devra être fournie aux aéronefs soit sous forme d'alimentation électrique fixe au sol, soit par GPU alimenté à l'électricité.

De plus, afin de favoriser l'approvisionnement au sol et de réduire la pollution, un amendement à la loi de finances pour 2021, a introduit un tarif réduit de la taxe intérieure sur la consommation finale d'électricité (TICFE), pour l'électricité fournie par les aérodromes aux aéronefs en stationnement. Le tarif de cette taxe est fixé à 0,5 € par mégawattheure, en cohérence avec celui adopté en loi de finances pour 2020 pour les navires stationnant à quai dans les ports. Cette mesure devra toutefois avant son entrée en vigueur faire l'objet d'une autorisation du le Conseil de l'Union européenne.

En plus des aéronefs, il convient également de mobiliser les gisements de réduction des émissions liés à l'utilisation des engins de piste utilisés sur les plateformes aéroportuaires : les engins d'assistance à l'avion, d'assistance aux passagers, les camions avitailleurs...

La plupart de ces véhicules sont encore à moteur thermique, mais les modèles hybrides et électriques se développent. Ainsi la quasi-totalité des engins de piste ont maintenant des versions électriques en dehors de quelques-uns tels que les camions de pompier. Le renouvellement progressif des parcs roulants permet d'intégrer de plus en plus d'engins de piste électriques ; il doit cependant s'accompagner d'installation de bornes de recharge suffisantes en nombre et en puissance.

Des expérimentations avec des solutions moins coûteuses sont également réalisées de façon complémentaire en transition, comme le boîtier « Antismog ». Ce boîtier, qu'on relie directement au système d'injection des véhicules terrestres, permet d'améliorer la combustion des moteurs et de réduire les émissions de polluants atmosphériques et de CO₂ en injectant des petites doses d'hydrogène. Le moteur dopé par le dispositif Antismog rejette ainsi jusqu'à 80 % de particules fines en moins, et entraîne une baisse de 5 à 10 % de la consommation de carburant – soit un rejet de CO₂ diminué d'autant.

Enfin, afin d'inciter à l'utilisation d'engins de piste moins émetteurs, la loi de finances pour 2021 a reconduit la mesure permettant aux exploitants aéroportuaires et aux assistants en escale soumis à l'impôt sur les sociétés ou à l'impôt sur le revenu selon un régime réel de déduire de leur résultat imposable une somme égale à 40 % de la valeur d'origine, hors frais financiers, des engins non routiers inscrits à l'actif immobilisé fonctionnant au gaz naturel, à l'énergie électrique ou à l'hydrogène, ainsi que des engins non routiers combinant l'énergie électrique et une motorisation à l'essence ou au superéthanol E85 et ceux combinant l'essence à du gaz naturel carburant ou du gaz de pétrole liquéfié dont les émissions sont inférieures ou égales à une valeur fixée par un décret. Les engins non routiers et matériels aéroportuaires pouvant bénéficier de ce dispositif sont par exemple les tracteurs de repoussage avion, les tracteurs à bagages, les loaders (chargeur), les GPU (groupe électrogène), les ACU (climatiseurs mobiles). Elle s'applique pour les biens acquis ou loués à compter du 1^{er} janvier 2020 jusqu'au 31 décembre 2022. Une prorogation de la période d'application de cette mesure au 31 décembre 2025 serait nécessaire, les acteurs concernés ayant dû retarder leurs investissements depuis 2020 en raison de la crise sanitaire et de ses conséquences au plan économique.

De façon générale, les exploitants d'aéroports s'engagent de plus en plus dans la décarbonation de leurs structures. Plusieurs initiatives existent pour encourager le développement d'aéroports plus « verts ». La démarche *Air Carbon Accreditation* (ACA) développée par l'*Airport Council International* (ACI) est un programme de certification basé sur le volontariat dans lequel les aéroports s'engagent à réduire leurs émissions de CO₂. Elle comprend 6 niveaux, le niveau le plus élevé correspondant à une réduction des émissions des aéroports et des tiers en valeur absolue répondant aux objectifs de l'Accord de Paris ainsi que la compensation des émissions résiduelles. Lancé en 2020, le programme EASEE (Engagement des aéroports pour la sobriété énergétique et l'environnement), à l'initiative de l'Union des Aéroports Français et Francophones associés, propose un accompagnement technique et financier aux aéroports, notamment pour les petites et moyennes structures, afin de faciliter leur intégration puis leur progression dans le dispositif ACA. L'objectif, à terme, est d'amener 85 aéroports vers une accréditation ACA ²⁸⁶ au minimum. Fin 2021, près de 70 aéroports français ont rejoint le programme EASEE. Ce programme bénéficie de subventions du ministère de la transition écologique par le biais des certificats d'économie d'énergie.

⁸⁶ Niveau 1 : bilan carbone ; Niveau 2 : gérer et réduire ses émissions ; Niveau 3 : s'engager auprès des tiers et mesurer leurs émissions ; Niveau 3+ : compenser les émissions résiduelles du scope 1 et 2 ; Niveau 4 : étendre la mesure de l'empreinte carbone, réduire les émissions en valeur absolue en accord avec l'Accord de Paris, renforcer l'engagement des tiers ; Niveau 4+ : compenser les émissions résiduelles compenser les émissions résiduelles du scope 1 et 2.

Partie 5 : Renforcer les mesures fondées sur l'économie et le marché

Les mesures de marché constituent un quatrième levier vecteur de décarbonation du trafic aérien. Actuellement, il existe deux principaux dispositifs, le système européen d'échanges de quotas d'émissions de gaz à effet de serre (SEQE) et le mécanisme de compensation mondial CORSIA, qui ont pour ambition ou pour effet de donner un prix à la tonne de CO₂ émise par l'aviation, ayant vocation à être répercuté sur le billet d'avion.

C'est aussi l'ambition de la loi Climat et résilience qui prévoit pour l'aérien des mesures ayant pour objectif de limiter les émissions du secteur et de favoriser l'intermodalité entre le train et l'avion.

1. Régime de compensation et de réduction des émissions de CO₂ pour l'aviation internationale (CORSIA)

En 2016, après 3 ans de négociation, l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a adopté le système CORSIA (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*) pour faire face à la croissance des émissions du secteur aérien et pour stabiliser les émissions nettes à partir de 2020.

Le CORSIA est un mécanisme basé sur le marché visant à compenser les émissions de CO₂ (seul GES visé) des vols internationaux excédant leur niveau de référence⁸⁷. Après calcul des exigences de compensation par exploitant soumis au CORSIA, les compagnies aériennes doivent :

- rendre compte de l'utilisation de SAF pendant la période de conformité de 3 ans, à partir de laquelle l'Etat déduit les avantages tirés et informe l'exploitant de ses exigences finales de compensation ;
- acheter des crédits d'émission générés par des projets de compensation carbone internationaux admissibles par CORSIA (en mars 2020, six programmes de compensation sont approuvés par le Conseil de l'OACI au regard de critères d'admissibilité spécifiques, définis par le TAB, organe consultatif technique du CAEP pour le dispositif CORSIA), pour une quantité équivalant aux exigences finales de compensation pour la période donnée ;
- présenter à l'Etat un rapport d'annulation d'unités d'émissions validé. L'Etat vérifie le rapport et en informe l'OACI.

CORSIA s'applique uniquement pour les vols internationaux entre les pays participants (les vols internationaux effectués sur des routes reliant un Etat qui participe au CORSIA à un autre qui n'y participe pas, ou reliant deux Etats qui n'y participent pas, sont exemptés de l'obligation de compensation).

107 pays (au 1er janvier 2022) participent à la phase volontaire entre 2021 et 2026, représentant 87 % du trafic aérien international (115 au 1er janvier 2023) et permettant d'assurer qu'environ 50% des émissions du trafic aérien international soient couvertes par

⁸⁷ L'année de référence retenue initialement était 2019-2020. Du fait de la pandémie de Covid-19 et de la forte réduction du nombre de vols en 2020, et donc des émissions de CO₂ liées à l'aviation, la 41^{ème} Assemblée de l'OACI a décidé de retenir 2019 pendant la phase pilote allant de 2021 à 2023. A partir de 2024, ce sont les émissions dépassant 85 % de celles de l'année 2019 qui devront être compensées.

CORSIA. Par la décision (UE) 2020/954 du Conseil du 25 juin 2020, les Etats membres de l'UE rentrent volontairement dans le programme CORSIA dès la phase pilote.

La phase 2 (2027-2035) sera obligatoire, et tous les vols internationaux seront assujettis à des exigences de compensation carbone à compter de cette date. Toutefois, les vols à destination et en provenance des pays les moins avancés (PMA), des petits États insulaires en développement, des pays en développement sans littoral, et des États qui représentent moins de 0,5 % de la RTK (Revenu Tonne Kilomètre) internationale seront exemptés (mais pourront participer volontairement).

La France plaide dans le cadre de l'OACI pour une mise en œuvre aussi ambitieuse que possible du CORSIA. La 41^{ème} Assemblée a ainsi entériné la décision du Conseil de juin 2020 d'utiliser pour la phase pilote (2021-2023) les émissions de 2019 (au lieu de la moyenne des années 2019 et 2020) comme niveau de référence au-dessus duquel les émissions doivent être compensées, afin de tenir compte des effets de la crise sanitaire. Ensuite, ce seuil sera abaissé à 85 % des émissions de 2019 ce qui devrait permettre de rendre effectif le mécanisme de compensation dès 2024 selon les projections de trafic du CAEP. Le recours au « facteur de croissance individuel » pour le calcul des compensations a été révisé à la baisse (report de 2030 à 2033, et seuil fixé à 15 % au lieu des 70 % prévus initialement) au bénéfice des transporteurs des pays émergents et en développement : en d'autres termes, les compensations liées à la croissance supérieure de certains transporteurs seront l'objet d'une plus grande mutualisation.

2. Le système européen d'échange de quotas d'émission : régime SEQE-UE

Le système européen d'échange de quotas d'émission (SEQE ou en anglais *European Union Emission Trading Scheme*, EU-ETS), présenté comme la pièce maîtresse de la politique climat de l'UE, est le mécanisme européen d'échange de quotas d'émissions. Etabli en 2003 par la directive Quotas (directive 2003/87/CE), le système impose un plafond maximal sur les émissions de CO₂eq aux secteurs très émetteurs de l'UE (l'industrie, l'énergie et, depuis 2012, intégrées à l'ETS par la directive européenne 2008/101/CE, les activités aériennes). Ce plafond décroît au fil des années pour faire baisser le niveau global des émissions de GES à l'échelle de l'UE.

Les installations industrielles (ou dans le cas de l'aérien les compagnies aériennes) doivent chaque année mesurer et faire vérifier leurs émissions et restituer l'année suivante des quotas d'émissions en quantité correspondante (un quota équivaut à une tonne de CO₂eq). Ces installations peuvent obtenir des quotas à titre gratuit et/ou achètent des quotas sur le marché qu'elles peuvent ensuite échanger les unes avec les autres. Le nombre de quotas mis sur le marché correspond au plafond d'émissions décidé à l'avance permettant de respecter les réductions d'émissions, et un prix du carbone émerge du fait de l'offre et de la demande.

Le prix du quota avoisine au mois de mars 2022 les 80 euros. En 2019, avec un niveau de trafic pré-Covid, une compagnie aérienne percevait gratuitement environ 50 % des quotas qu'elle avait à restituer. Dans son projet de paquet « *Fit for 55* », la Commission européenne prévoit une révision du système d'échange de quotas SEQE-UE pour atteindre la cible des -55 % d'émissions de GES en 2030, avec un volet spécifique relatif à l'aérien. La Commission propose ainsi :

- une révision à la baisse de l'allocation de quotas gratuits aux compagnies aériennes pour le transport aérien, avec une suppression des quotas gratuits pour les vols intra-UE après 2026. Dans le cadre des négociations en cours, la France soutient le principe de cette suppression progressive ;

- une réduction linéaire du plafond d'émissions de 4,2 % chaque année (au lieu de 2,2 % prévus actuellement) ;
- une articulation entre les dispositifs SEQE-UE et CORSIA excluant l'application du CORSIA pour les vols intra européens uniquement soumis au SEQE-UE.

La Présidence française de l'UE a obtenu une orientation générale pour ce texte lors du Conseil des ministres de l'Environnement le 28 juin 2022.

3. La taxation du kérosène

Dans le cadre du Paquet « *Fit for 55* », la Commission européenne propose de réviser la Directive sur la Taxation d'énergie (ETD). Le kérosène utilisé comme carburant dans l'industrie aéronautique ne serait plus exonéré de la taxation de l'énergie pour les voyages intra-UE. Sur une période de transition de dix ans (2023-2033), le taux minimum d'imposition de ces carburants augmenterait progressivement, tandis que les carburants durables pour l'aviation bénéficieraient d'un taux minimal nul pour encourager leur utilisation.

La France soutient le principe d'une telle taxation du kérosène. De façon à soutenir le développement des carburants durables pour l'aviation, il serait pertinent que les exemptions prévues pour ce type de carburant vertueux puissent être conservées au-delà de la période de transition de dix ans.

Toutefois, le fait que seuls les vols intra-UE seraient taxés dégrade mécaniquement la compétitivité des hubs aéroportuaires européens vis-à-vis des aéroports non européens offrant des services concurrents vers une destination similaire (par exemple : un vol Marseille / Shanghai qui transite par Paris-CDG ou Amsterdam-Schiphol sera taxé sur sa partie intra-européenne alors qu'il sera exempté de toute taxe s'il transite par les aéroports d'Istanbul ou Dubaï). L'impact de cette mesure et plus largement de l'ensemble du Paquet « *Fit for 55* » sur la compétitivité du secteur aérien devrait être étudié avec attention pour éviter que, sur certaines liaisons, il ne conduise à déplacer les passagers vers des correspondances plus longues et donc plus émissives, générant ainsi des fuites de carbone diminuant les réductions d'émissions globales générées par le paquet « *Fit for 55* ».

4. Limiter les émissions du transport aérien et favoriser l'intermodalité entre le train et l'avion

4.1 La loi « Climat et résilience »

La Loi « Climat et résilience » du 28 août 2021 met en place plusieurs mesures destinées à réduire l'empreinte carbone du secteur aérien en contribuant notamment à la maîtrise de la hausse de la demande de transport. Ses articles 142 à 147 sont consacrés à l'aérien : « Limiter les émissions du transport aérien et favoriser l'intermodalité entre le train et l'avion ». S'y ajoute l'article 21 du titre II qui interdit le tractage publicitaire par les avions à compter du 1^{er} octobre 2022. Ces mesures législatives doivent être complétées par des textes d'application déjà largement adoptés.

La loi prévoit notamment :

- L'article 142 de la loi « climat et résilience » dispose que l'Etat se fixe pour objectif que le transport aérien s'acquitte, à partir de 2025, d'un prix du carbone au moins équivalent au prix moyen constaté sur le marché du carbone pertinent, en privilégiant la mise en place d'un dispositif européen tout en prenant en compte la compétitivité, la préservation des emplois, le pouvoir d'achat des consommateurs

et la capacité d'investissement dans la transition écologique du secteur aérien, le désenclavement des territoires. Le soutien qu'apporte la France à la proposition du paquet « *Fit for 55* » de baisse progressive des quotas gratuits dans le SEQE-UE, ainsi que la mise en place d'une taxation sur le kérosène proposée dans le cadre de la révision sur la taxation de l'énergie contribueront à l'atteinte de cet objectif. A cet égard, le Gouvernement français a introduit le secteur aérien dans le champ de la taxe incitative à l'incorporation de biocarburants à compter de 2023.

- L'article 144 prévoit l'interdiction à terme de la vente à perte de billets d'avion, notamment grâce à la fixation d'un prix minimal de vente des billets.
- L'article 145 prévoit l'interdiction des vols intérieurs dès lors qu'un transport par train direct est possible en moins de 2h30, entre les deux mêmes villes. Deux exceptions sont prévues : les avions de passagers pouvant être considérés comme assurant majoritairement le transport de passagers en correspondance ou comme assurant un transport aérien décarboné. Cet article 145 nécessite un décret d'application. Le projet de décret initial a été suspendu par la Commission européenne, saisie par les compagnies aériennes ; elle poursuit actuellement les échanges avec le gouvernement, afin de parvenir à un accord sur la rédaction d'un nouveau décret.
- L'article 146 interdit la création de nouveaux aéroports ou l'agrandissement d'une aérogare ou des pistes d'un aéroport ouvert à la circulation aérienne publique, dans le but d'augmenter les capacités d'accueil des aéronefs, des passagers ou du fret si ces travaux entraînent une augmentation nette, après compensation, des émissions de gaz à effets de serre (GES) générées par l'activité aéroportuaire, par rapport à l'année 2019. Le projet de décret d'application a été soumis à l'avis du Conseil d'Etat au mois d'avril 2022. Ne seront pas soumis à cette interdiction les aéroports de l'outre-mer, de Bâle-Mulhouse, de Nantes-Atlantique, les hélistations et tous les travaux liés à la sécurité, à des raisons sanitaires, à la défense nationale ou à une mise aux normes réglementaires. Le décret d'application de cette mesure a été publié le 23 juin 2022.
- L'article 147 met en place un mécanisme réglementaire de compensation des émissions des vols effectués à l'intérieur du territoire national. Il rend obligatoire pour tous les opérateurs aériens la compensation des émissions de gaz à effet de serre des vols intérieurs à compter du 1^{er} janvier 2022, avec une période de transition jusqu'à leur compensation complète en 2024. Cette compensation carbone sera réalisée de préférence par l'achat de réduction d'émission issues de projets d'absorption du carbone situés dans l'UE (reforestation ou conversion agricole par exemple). Le décret n° 2022-667 du 26 avril 2022 précise les conditions et modalités d'application de l'obligation de compensation.
- Par ailleurs, l'article 12 de la loi « climat et résilience » vise à encadrer la publicité pour les produits et services « neutres en carbone » et fixera par décret les modalités de compensation des émissions de gaz à effet de serre résiduelles des produits revendiquant cette allégation.

En plus de ces mesures qui contribuent à maîtriser la demande de transport, la France encourage le télétravail et le développement des tiers lieux qui engendrent la baisse de la demande de transport. Les partenaires sociaux se sont également engagés à la promotion du télétravail : l'accord national interprofessionnel (ANI) du 26 novembre 2020 pour une mise en œuvre réussie du télétravail a été signé par trois organisations patronales (U2P, CPME et Medef) et quatre syndicats de salariés (CFE-CGC, CFTC, FO, CFDT).

4.2 La révision du règlement RTE-T

La politique de l'Union européenne relative au réseau transeuropéen de transport (RTE-T) vise à mettre en place un réseau de transport multimodal efficace à l'échelle européenne. Pour aligner le développement du réseau RTE-T sur les objectifs du pacte vert de l'Europe et atteindre une réduction des émissions de GES de 90 % par rapport aux niveaux de 1990 d'ici à 2050 pour le secteur des transports, la révision du règlement RTE-T de 2013 s'impose. La Commission européenne a publié le 14 décembre 2021 la proposition de révision du règlement RTE-T afin de définir les priorités en matière d'infrastructures de transport éligibles au cofinancement européen pour accélérer leur réalisation. Cette proposition prévoit en particulier que les Etats membres veillent à ce que les aéroports du réseau central et les aéroports du réseau global dont le volume annuel total de trafic passagers est supérieur à quatre millions soient reliés au réseau ferroviaire à longue distance, y compris le réseau à grande vitesse.

Ces propositions toujours en cours de négociation au niveau européen contribueront à favoriser l'intermodalité entre l'avion et le train.

Glossaire

AAP : Appel à projet
ACA : Air Carbon Accreditation
ACI : Airport Council International
ACU : Air Conditioning Unit
ADP : Groupe Aéroports de Paris
AESA : Agence européenne de la sécurité aérienne
AFIR : Alternative Fuels Infrastructure Regulation
AMI : Appel à manifestation d'intérêt
APU : Auxiliary Power Unit (groupe auxiliaire de puissance)
ATAG : Air Transport Action Group
ATM : Air trafic management
CAD : carburants d'aviation durable (SAF en anglais)
CAEP : Comité pour la protection de l'environnement
CCNUCC : Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques
CDO : Continuous descent operations (approche en descente continue)
CO₂ : dioxyde de carbone
CORAC : Conseil pour la recherche aéronautique civile
CORSIA : Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
CRNA : Centre en route de la navigation aérienne
DGAC : Direction générale de l'aviation civile
DSNA : Direction des services de la navigation aérienne
EASEE : Engagement des aéroports pour la sobriété énergétique et l'environnement
ECV : Engagement pour la croissance verte
ETD : Directive sur la Taxation d'énergie
EU-ETS : European Union Emission Trading Scheme
FABEC : Functional Airspace Block Europe Central
FNAM : Fédération Nationale de l'Aviation et de ses Métiers
FRA : Free Route Airspace
FUA : Flexible Use of Airspace
GEAD : Groupement des Equipements Aéronautiques et de Défense
GES : gaz à effet de serre
GIFAS : Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales
GPU : Ground Power Unit
HFE : Horizontal flight efficiency (efficacité des vols dans le plan horizontal)
IATA : International Air Transport Association
LTAG : Long-Term global Aspirational Goal
LTECV : loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte
OACI : Organisation de l'aviation civile internationale
ONERA : Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales
CNRS : Centre national de la recherche scientifique
PFUE : présidence française de l'Union européenne
PIA : Programme d'investissement d'avenir
PNACC : plan national d'adaptation au changement climatique
PPE : programmation pluriannuelle de l'énergie
RTE : Réseau transeuropéen de transport
SAF : Sustainable aviation fuels (CAD en français)
SEQE : système européen d'échanges de quotas d'émissions de gaz à effet de serre (en anglais EU-ETS, European Union Emission Trading Scheme)
SESAR : Single European Sky Air traffic management Research
SFEC : Stratégie française sur l'énergie et le climat
SNBC : Stratégie nationale bas-carbone

TICFE : Taxe intérieure sur la consommation finale d'électricité
TIRIB : Taxe incitative relative à l'incorporation de biocarburants
TIRUERT : Taxe incitative à l'utilisation d'énergies renouvelables dans les transports
UAF : Union des Aéroports Français
UE : Union Européenne

La section 2 de ce plan d'action a été finalisée en décembre 2022, et doit être considérée comme susceptible d'être mise à jour après cette date.