

**UNIVERSITE D'AIX-MARSEILLE
FACULTE DE DROIT ET DE SCIENCE POLITIQUE**



**INSTITUT DE FORMATION UNIVERSITAIRE ET DE
RECHERCHE DU TRANSPORT AERIEN**

**RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE ET COMPORTEMENTS
INDIVIDUELS : Comment modifier les comportements et faire
évoluer le secteur aérien sous la contrainte environnementale ?**

**Mémoire pour l'obtention du
Master 2 Droit et Management du Transport Aérien**

Par

Lady LOZANO

**Sous la direction de Mme, Valérie BRUN,
Maître de conférences en Sciences économiques**

Année universitaire 2018-2019

UNIVERSITE D'AIX-MARSEILLE
FACULTE DE DROIT ET DE SCIENCE POLITIQUE

PÔLE TRANSPORTS
INSTITUT DE FORMATION UNIVERSITAIRE ET DE
RECHERCHE DU TRANSPORT AERIEN

RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE ET COMPORTEMENTS
INDIVIDUELS : Comment modifier les comportements et faire
évoluer le secteur aérien sous la contrainte environnementale ?

Mémoire pour l'obtention du
Master 2 Droit et Management du Transport Aérien

Par

Lady LOZANO

Sous la direction de Mme, Valérie BRUN,
Maître de conférences en Sciences économiques

Année universitaire 2018-2019

REMERCIEMENTS

Je voudrais dans un premier temps, remercier ma directrice de mémoire, madame Valérie BRUN, Maitre de conférences en Sciences économiques, d'avoir partagé sa méthodologie et ses précieux conseils qui ont aidé et guidé mes réflexions.

J'adresse aussi toute ma gratitude à madame Marie-Paule VERSINI, pour sa patience et sa disponibilité tout au long de la construction et de l'écriture de ce mémoire.

Je remercie mes proches, pour leur soutien et leurs encouragements qui ont été une aide précieuse.

Enfin, un grand merci à la Faculté de Droit, à l'IFURTA et à toutes et tous mes collègues qui ont fait de cette année une merveilleuse expérience.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
I. LE TRANSPORT AÉRIEN ET LA LUTTE CONTRE LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE	10
A. LES ACTEURS DU TRANSPORT AERIEN FACE AUX IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU SECTEUR.....	10
1. L'activité aérienne et ses impacts sur l'environnement	11
2. Des organismes réglementaires pour lutter contre les émissions de CO ₂	18
B. DES STRATÉGIES POLITIQUES POUR RÉDUIRE LES IMPACTS CLIMATIQUES.....	26
1. Développement technologique.....	28
2. L'opérationnel	30
3. Carburants alternatifs.....	34
4. Mesures fondées sur le marché.....	37
II. LE CO₂ AU CŒUR DES COMPAGNIES AÉRIENNES ET DE LEUR ADAPTATION	46
A. LES ACTIONS DES COMPAGNIES AÉRIENNES POUR RÉDUIRE LEURS IMPACTS SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE	46
1. L'innovation afin de réduire la consommation de kérosène	48
2. Autres stratégies pour compenser les émissions de CO ₂	51

B. TRANSITION : UN RISQUE DE DISTORSION DE CONCURRENCE	53
1. La souveraineté des États et la protection de l'environnement, un regard sur l'écotaxe dans les compagnies aériennes.....	54
2. La résilience des compagnies. Vers un nouveau modèle de service ?	58
CONCLUSION	64
BIBLIOGRAPHIE.....	66
TABLE DES MATIERES	72
TABLE DES ILLUSTRATIONS	74
RESUME	1

TABLE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES UTILISÉS

ACARE : Conseil Consultatif pour la Recherche Aéronautique en Europe

ACNUSA : Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires

AMAN : Gestion des arrivées dans l'espace aérien en route

APU : *Auxiliary Power Unit*

ATM : *Air Traffic Management*

CAEP : *Committee on Aviation Environmental Protection*

CCO : *Continuous Climb Operations*

CDO : *Continuous Descent Operations*

CH₄ : Méthane

CNG : *Carbon Neutral Growth*

CO₂ : Dioxyde de Carbone

CORAC : Conseil pour la Recherche Aéronautique Civile

CORSIA : *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*

CUE : Ciel Européen Unique

DGAC : Direction Générale de l'Aviation Civile

DSNA : Direction de Services de la Navigation Aérienne

DTA : Direction de Transport Aérien

EASA : Agence Européenne de la Sécurité Aérienne

ETS : Système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre

FABEC : Bloc d'Espace Aérien d'Europe Centrale

FABs : Blocs d'Espace Aérien Fonctionnel

GES : Gaz à Effet de Serre

GIEC : Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat

GPU : *Ground Power Unit*

HC : Hydrocarbures

MBM : *Market Based Measure*

MRV : *Monitoring, Reporting and Verification*

NOx : Oxydes d'azote

O3 : Ozone

OACI : Organisation d'Aviation Civile Internationale

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PAX : Passager

RNP : Performances de Navigation Requises

SARPs : *Standards and Recommended Practices*

SES : *Single European Sky*

SESAR : *Single European Sky ATM Research*

SOx : Oxydes de soufre

SRA : Programme de recherche stratégique

SRIA : Programme stratégique de recherche et innovation

VTOL : *Vertical Take-Off and Landing*

WWF : *World Wildlife Fund*

INTRODUCTION

« ... nous ne sommes pas obligés de faire venir de l'autre bout du monde des marchandises dont nous n'avons pas réellement besoin. En effet, nous ne sommes pas obligés de passer le bien-être du commerce au-dessus du bien-être de la planète... » [1]

Ivy-Fleur Boileau¹, 19 ans

Chaque année, l'ONG *Global Footprint Network*, travaille en collaboration avec le Fond mondial pour la nature (WWF²) pour calculer le « jour de dépassement ».

Il correspond au jour où l'humanité a dépensé toutes les ressources que la Terre peut régénérer en un an et cette année, notre jour de dépassement a eu lieu le 29 juillet. Depuis cette date, nous vivons à crédit avec la planète et nous avons besoin de 1.75 planète Terre pour continuer à vivre comme nous le faisons actuellement. Le graphique ci-dessous met en évidence l'évolution du jour de dépassement et la consommation de ressources depuis 1970. Certainement, notre consommation de ressources augmente d'année en année

¹ Etudiante en théâtre et membre du mouvement la jeunesse pour le climat (*youth for climate*) dans son intervention au débat sur l'urgence climatique à l'Assemblée Nationale, mardi 23 Juillet 2019 à Paris.

² *World Wildlife Fund*

mais pour atteindre un équilibre en 2050, nous devons faire des efforts en réduisant notre empreinte écologique au moins de cinq jours par an. Ainsi l'affirme WWF dans son communiqué de presse de 29 juillet 2019.

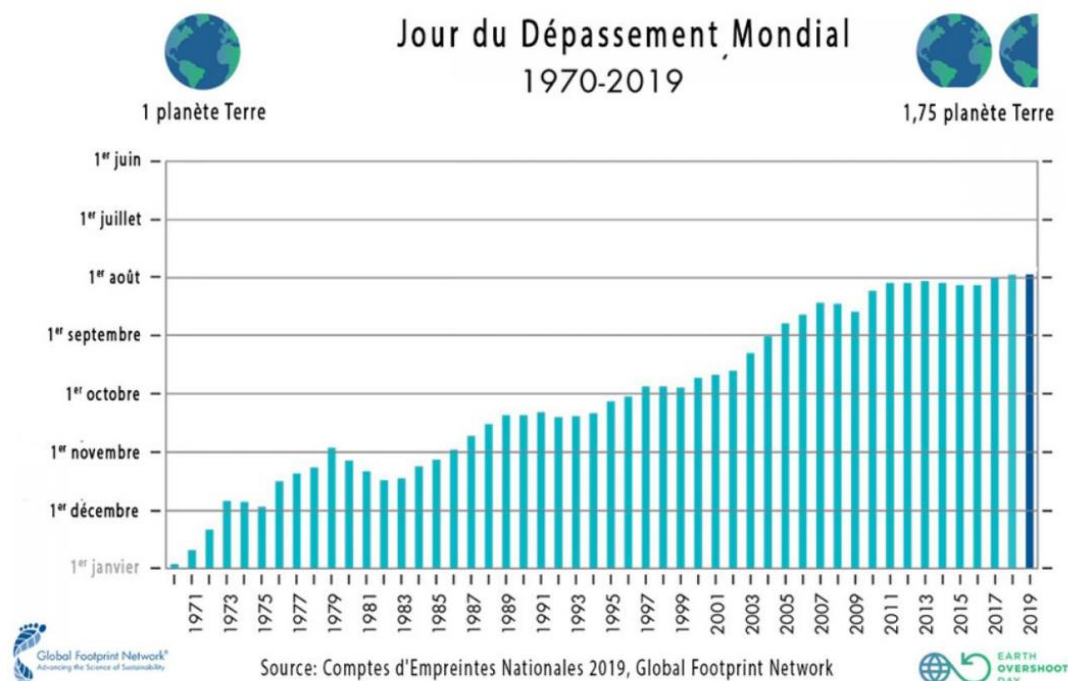


Figure 1. Jour de dépassement mondial

L'Organisation souligne que le principal élément de l'empreinte écologique concerne les émissions de dioxyde de carbone qui représentent 60 %. Une réduction de 50 % de ces émissions, pourrait reculer de 93 jours le jour du dépassement [2].

C'est grâce aux études du Groupement Intergouvernemental des Experts sur le Climat (GIEC) que l'humanité a été alertée des conséquences de ses comportements sur la planète. Chaque année, plus de 40 milliards de tonnes de CO₂ sont émises dans l'atmosphère et c'est un chiffre qui continue de

croître. Une seule tonne de CO₂ rejetée peut rester dans l'atmosphère environ cent ans [3]. Ainsi, les températures vont continuer d'augmenter même si les émissions de carbone s'arrêtent demain. C'est pourquoi il est urgent de mettre en œuvre de vraies actions qui feront pencher la balance en faveur de la planète.

Mais en quoi consiste l'effet de serre ? En réalité, c'est un phénomène naturel généré par certains gaz dans l'atmosphère, qui absorbent une partie de l'énergie des rayons solaires sur la Terre. L'autre partie est redirigée vers l'espace. Cette condition régule la température de la Terre et sans l'effet de serre, la température moyenne terrestre serait de -19°C.

Quand nous parlons du réchauffement climatique, nous nous rendons compte que la principale cause est l'activité humaine, car elle a augmenté considérablement la concentration des gaz à effet de serre et a en même temps introduit de nouveaux gaz dans l'atmosphère. Cette perturbation a généré l'augmentation de la température moyenne de la Terre et a pour conséquence le dérèglement climatique. Le CO₂ est un des gaz principaux des émissions de GES, néanmoins il y a aussi des gaz comme le méthane (CH₄) et le dioxyde d'azote (N₂O), qui ont une contribution importante dans le réchauffement climatique.

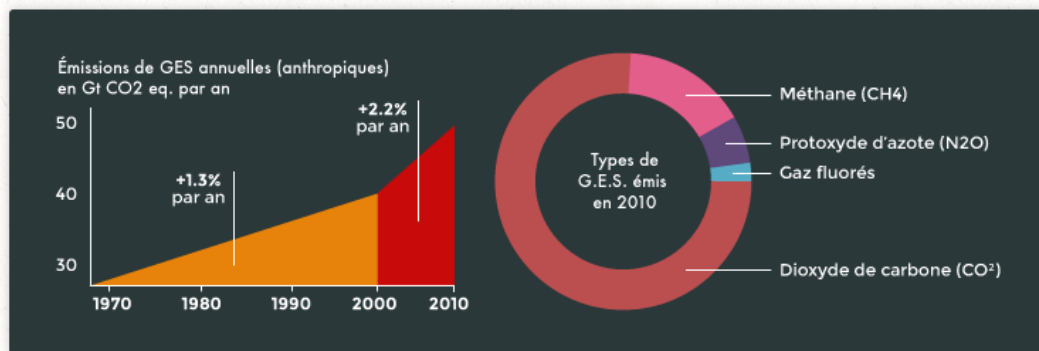


Figure 2. Emissions des GES annuelles d'origine anthropique. Source : leclimatchange.fr

Bien que différentes politiques aient été créées pour réduire les rejets de GES, entre les années 2000 et 2010 les émissions ont augmenté de 2.2 % [4]. Aujourd'hui, l'objectif est d'éviter de dépasser 1.5 °C de la température moyenne globale. Chaque secteur économique doit mettre en œuvre des actions pour réduire sa contribution de GES dans l'atmosphère.

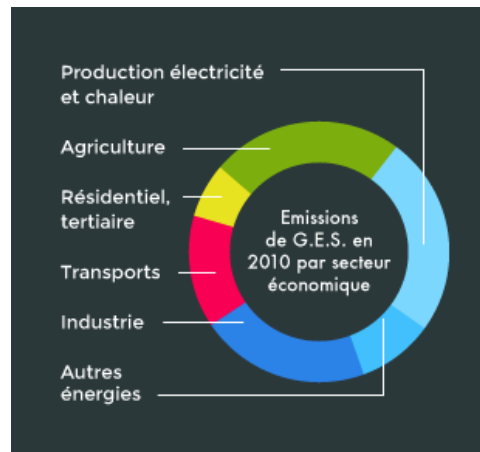


Figure 3. Distribution des émissions GES par secteur Source : leclimatchange.fr

Notre étude est centrée sur les émissions générées par le secteur du transport et plus spécifiquement du transport aérien. Voyons d'abord quelle est la définition du transport aérien ainsi que la nature de son activité.

Le Groupe d'Action sur le Transport Aérien, mieux connu sous son acronyme anglais ATAG³, définit l'industrie du transport aérien comme « le réseau mondial d'exploitation d'avions commerciaux, d'aéroports, de prestataires de services de navigation aérienne et de constructeurs d'aéronefs et de leurs composants » [5]

Cette industrie génère une richesse économique non seulement autour de son activité, mais touche également d'autres secteurs qui sont bénéficiaires d'une manière ou d'une autre grâce à son fonctionnement. Pour mieux comprendre ces impacts, ils sont divisés en quatre catégories : directs, indirects, induits et catalytiques.

Les impacts directs comprennent tous les emplois qui ont une liaison directe avec l'activité de l'aviation, depuis la conception de l'avion en passant par les aéroports, les compagnies aériennes, les services à la navigation aérienne et jusqu'aux services de catering pour le voyage. Ces activités ont généré environ 9.9 millions d'emplois dans le secteur aérien et \$ 664.4 milliards du PIB global selon le rapport sur les bénéfices de l'aviation présenté par l'IHLG⁴ en 2 017.

Quant aux fournisseurs des activités aériennes, par exemple les fournisseurs de kérosène et des sous-composants pour l'avion, ils sont répertoriés dans **les impacts indirects** et ont produit un total de 11 millions d'emplois en 2014.

³ ATAG - *The Air Transport Action Group*

⁴ IHLG - Le Groupe de Haut Niveau de l'Industrie (*Industry High Level Group*) est conformé par le Conseil international des aéroports (ACI), l'Organisation des services de navigation aérienne civile (CANSO), l'Association du transport aérien international (IATA) et le Conseil International de coordination des associations d'industries aérospatiales (ICCAIA).

Dans **les impacts induits**, nous retrouvons des secteurs différents de l'industrie aérienne. Ils sont affectés, grâce aux revenus directs ou indirects des employés du transport aérien, qui achètent des biens et services pour leur consommation. Ceux-ci ont généré près de huit millions d'emplois induits et près de \$454 milliards de contribution à l'économie globale [5].

Finalement, pour parler **des impacts catalytiques**, il faut noter que le transport aérien touche différents secteurs, dont un des plus représentatifs qui est le tourisme. Dans l'économie mondiale, le tourisme représente une source très importante pour la croissance économique de certains pays, particulièrement les moins développés. C'est ainsi que le secteur aérien y a contribué, en transportant 57 % de touristes internationaux, en 2 017 [6].

En France, le transport aérien a généré 273 000 emplois directs, 431 000 indirects, 207 000 induits et 231 000 dans le tourisme [7].

L'aviation est aussi une industrie au service de la société. Son activité ne génère pas uniquement des bénéfices économiques, elle permet également l'interconnexion des personnes en provenance de différentes parties de la planète dans un temps réduit, pour des raisons de travail, d'étude, de visite aux proches ou de santé.

Par exemple, des aides humanitaires, des vaccins ou des organes pour les transplantations peuvent être acheminés rapidement et de manière sécurisée. En 2015, le programme alimentaire mondial WFP⁵ a livré par air, 62 500 tonnes

⁵World Food Programme

de provisions alimentaires et de produits de base, afin de soulager les victimes d'inondations, de conflits et de maladies [8]. Il existe aussi des Air Ambulances qui donnent l'opportunité d'aide médicale aux personnes qui habitent dans des zones difficiles d'accès.

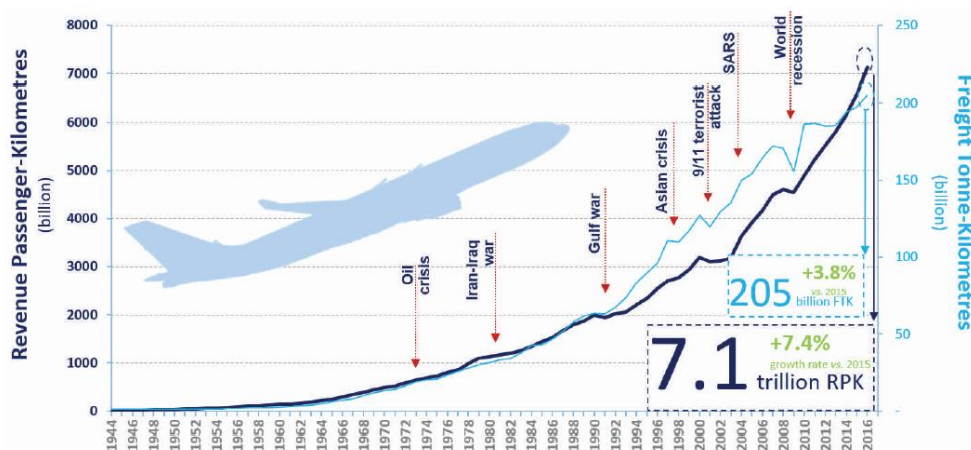
Des liaisons aériennes donnent l'occasion aux communautés éloignées ainsi qu'aux insulaires de rester connectés au reste du monde. En Europe, des Obligations de Service Public sont créées pour garantir la desserte de certaines régions. Des études démontrent que la connectivité aérienne ne permet pas seulement l'accès aux services indispensables, elle ouvre également les portes à un bénéfice économique dans la région. Par exemple, une augmentation de 10 % du trafic aérien vers le Brésil, la Suède et l'Indonésie a assuré 4.7 % des investissements étrangers, une augmentation de 0.5 % du PIB régional, 0.7 % des salaires et 0.9 % des emplois [9].

En outre, l'institut de statistiques de l'UNESCO a indiqué que le nombre d'étudiants qui ont décidé d'étudier à l'étranger a augmenté, en passant de 2.1 millions en 2000 à 4.6 millions en 2015 [10]. En effet, la connectivité aérienne offre l'opportunité d'obtenir une éducation supérieure de qualité à l'étranger, d'expérimenter des programmes d'échanges universitaires ainsi que d'accroître la collaboration scientifique internationale.

Enfin, la possibilité de voyager et de parcourir de longues distances en toute sécurité par air facilite également les expériences internationales, les échanges culturels, les opportunités professionnelles, l'expansion des affaires et contribue à l'amélioration de la qualité de vie.

Par ailleurs, le trafic aérien manifeste une grande capacité de résilience aux différentes crises, telle que la crise pétrolière de 1973, les guerres d'Iran-Irak ou du Golf, les attentats du 11 septembre 2001, la crise économique de 2008, entre autres.

En 2016, les compagnies aériennes ont transporté 3.8 milliards de passagers et ont obtenu 7.1 milliards de dollars de revenus par passager-kilomètre (RPK). Cette croissance du trafic de passagers est aussi le résultat de la réduction du prix du billet, ce qui a permis la démocratisation du service.



Source: ICAO Annual Report of the Council

Figure 4. Croissance économique du trafic aérien

Le plus récent rapport environnemental de l'Agence européenne de la Sécurité Aérienne (EASA), révèle que le nombre de vols par an a augmenté de 8 % entre 2014 et 2017 et il est estimé qu'entre 2017 et 2040 sa progression serait de 42 %.

La question se pose face aux indices de croissance du trafic aérien et la croissance des émissions de GES, car nous ne pouvons pas nier que les émissions des avions contribuent aussi au réchauffement climatique.

De plus, certains types de gaz créent une pollution atmosphérique qui impacte le niveau de la qualité de l'air en affectant directement la santé publique. Nous verrons quelles sont les principales nuisances que le transport aérien génère au niveau local dont la qualité de l'air mais, notre attention sera centrée surtout sur les émissions de CO₂ et les actions du secteur pour les neutraliser au niveau global.

Le même rapport confirme que les émissions de GES produits par l'activité du transport aérien correspondent au 3.6 % des émissions globales [11].

Face à cette croissance inévitable du trafic aérien et de ses émissions de carbone, nous nous demandons, **comment modifier les comportements et faire évoluer le secteur aérien sous la contrainte environnementale ?**

Pour apporter une réponse à cette problématique, il conviendra tout d'abord d'étudier les nuisances générées par le secteur aérien et leurs conséquences sur l'environnement ainsi que les organismes de l'aviation et les solutions qu'ils mettent en place pour amener à la réduction des émissions du secteur (I). Puis, nous ferons un focus sur les compagnies aériennes, leurs actions et leurs stratégies pour garantir la compétitivité tout en respectant les contraintes environnementales (II).

I. LE TRANSPORT AERIEN ET LA LUTTE CONTRE LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE

La cause principale du réchauffement climatique est l'augmentation des gaz à effet de serre due aux actions humaines. Le transport aérien est un des secteurs qui génère des émissions de GES, dont le dioxyde de carbone est le plus important.

Cette première partie est dédiée à la compréhension, dans un premier temps des répercussions que l'activité du transport aérien engendre sur l'environnement et les organismes régulateurs de l'aviation (A). Ensuite, nous verrons les mesures considérées comme nécessaires pour neutraliser les émissions des gaz à effet de serre en garantissant la croissance du trafic aérien international (B).

A. LES ACTEURS DU TRANSPORT AERIEN FACE AUX IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU SECTEUR

Sans doute, le transport aérien a été conçu pour le transport de marchandises et des personnes avec une finalité économique et sociale. Mais la préoccupation pour réduire les impacts sur l'environnement a surgi au fur et

à mesure de son développement. Aujourd'hui, s'adapter pour devenir plus respectueux de l'environnement est devenu un des défis les plus importants pour le secteur. Mais, quels sont les impacts produits par cette activité sur l'environnement ? Nous analyserons dans cette partie, les nuisances qui résultent de l'activité du transport aérien (1) pour répondre à cette question. Puis, nous évoquerons les différents organismes de régulation qui travaillent pour garantir la sécurité, le développement et le respect de l'environnement (2).

1. L'activité aérienne et ses impacts sur l'environnement

Cette industrie produit différents impacts sur l'environnement et pas seulement des émissions de CO₂.

Nous trouverons ces impacts divisés en deux groupes. Le premier correspond aux nuisances au niveau local ou régional tels que les problèmes de bruit et de qualité de l'air causés par les activités aériennes aéroportuaires (a). Le deuxième groupe comprend les situations qui affectent la globalité de la planète et qui contribuent directement au réchauffement climatique comme les gaz à effet de serre (b). Voyons donc plus en détail les situations du premier groupe :

a) Nuisances locales

Le bruit des avions est un des problèmes qui touche directement les communautés proches des aéroports, car l'exposition au bruit chronique peut

affecter la qualité de vie, perturber le sommeil et augmenter le risque de maladies cardiovasculaires des riverains [12]. Cette situation critique est une des raisons pour laquelle le développement du trafic aérien est parfois limité.

Des études révèlent que la haute exposition aux nuisances causées par les avions affecte notablement l'apprentissage chez les enfants en réduisant leurs capacités de lecture et de mémoire. Cela a été démontré par le projet le RANCH (*Road traffic and Aircraft Noise and children's Cognition & Health*)⁶ avec 2 844 enfants de 8 et 9 ans de 89 écoles voisines des aéroports, le Heathrow en Londres, le Schiphol en Amsterdam et le Barajas de Madrid [13].

Au niveau local et régional, les observations des impacts sur la qualité de l'air pouvant affecter la santé humaine ainsi que la flore et la faune recensent plusieurs sources : toutes les activités aéroportuaires, dont les opérations d'atterrissage et décollage des aéronefs en dessous de 3 000 pieds, soit 915 mètres de hauteur, ainsi que les activités du trafic routier à l'extérieur, des véhicules d'assistance en escale, des APU⁷ et GPU⁸, des opérations d'avitaillement, de maintenance et de dégivrage des aéronefs, entre autres. (Figure 5)

L'Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires (ACNUSA⁹), considère les aéronefs comme la première source des émissions locales, raison pour

⁶ Bruit des avions et du trafic routier, connaissance et santé des enfants

⁷*Auxiliary Power Unit*. L'Unité auxiliaire de puissance est un petit turboréacteur dans l'avion qui fournit à l'aéronef en escale l'électricité, la pression hydraulique et la climatisation.

⁸*Ground Power Unit*. Assure l'alimentation électrique des avions au sol en prenant le relais de l'APU.

⁹ L'ACNUSA est chargée de contrôler l'ensemble des dispositifs de lutte contre les nuisances générées par le transport aérien. Elle peut émettre des recommandations. Les compagnies aériennes sont passibles d'amendes administratives en cas de non-respect des restrictions en vigueur pouvant

laquelle nous nous concentrerons sur l'étude des gaz et particules produits seulement par la combustion de leurs moteurs.



Les sources d'émissions polluantes (aéroportuaires)

<ul style="list-style-type: none"> 1 Cycle LTO (décollage, montée et atterrissage) 2 Cycle LTO (roulage) 3 APU 4 Essais de moteur 	<ul style="list-style-type: none"> 5 Ateliers de maintenance 6 Stockage d'hydrocarbures 7 Centrale d'énergie 8 Trafic routier 	<ul style="list-style-type: none"> 9 Engins de piste (GPU et ACU) 10 Engins de piste (escaliers, tapis des bagages, engins de tractage...)
---	---	--

Figure 5. Sources d'émissions polluantes aéroportuaires. (Source : ACNUSA).

Les principaux polluants atmosphériques émis par les moteurs à réaction sont les hydrocarbures (HC), les oxydes d'azote (NOx) et le monoxyde de carbone (CO). Ils sont analysés pendant les différentes phases de vol (décollage, montée, atterrissage et roulage au sol), selon les standards exigés par l'OACI afin de certifier les émissions des moteurs.

atteindre jusqu'à 40 000 €. Les missions de l'ACNUSA en matière de sanctions sont prévues aux articles L. 6361-12 à 15 du code des transports ainsi qu'aux articles R. 227-1 à 5 du code de l'aviation civile [18].

À températures élevées à l'échappement, les moteurs des avions émettent des particules ultrafines ou de carbone noir appelées PM « non volatiles » (nvPM). Ces particules ont un diamètre moyen compris entre environ 15 nanomètres (nm) et 60 nm (0,06 micromètre ; 10 nm = 1/100 000 d'un millimètre. Figure 6). De plus, les gaz émis par le moteur peuvent aussi se condenser et produire de nouvelles particules (c'est-à-dire des particules volatiles - vPM) ou recouvrir les particules de suie émises [12].

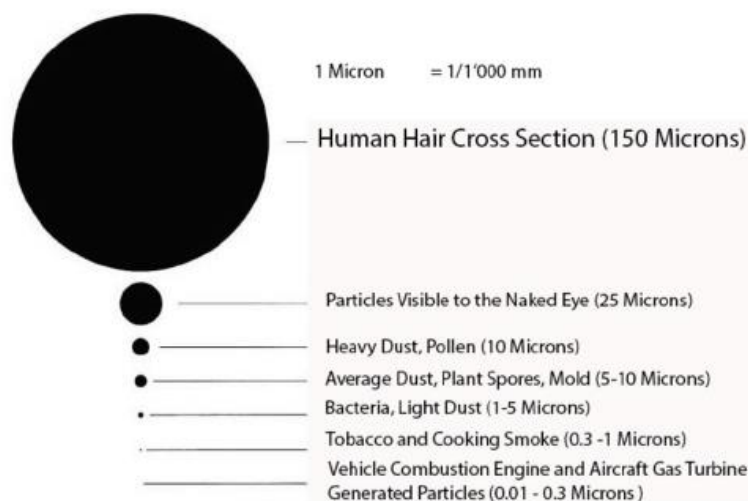


Figure 6. Comparaison relative de la taille d'une nvPM de la turbine d'un aéronef avec autres particules.
(Source : OACI)

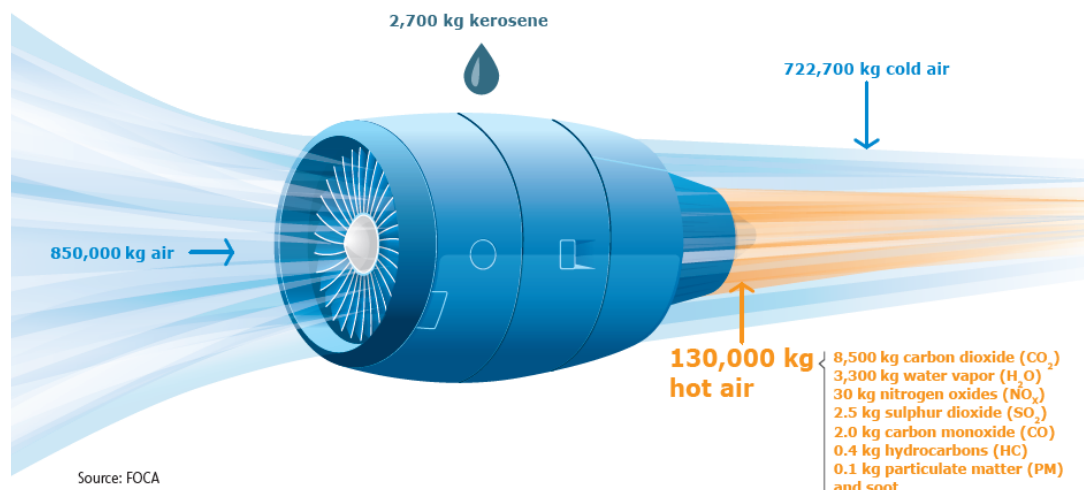
Des études épidémiologiques indiquent que ces particules fines produites par diverses sources d'émission contribuent à la mortalité prématurée et à d'autres effets sur la santé, par la dégradation de la qualité de l'air local. Des particules de suie ultrafines ont montré leur capacité à pénétrer profondément dans les poumons et les cellules du corps humain induisant des effets néfastes sur la santé. Les suies ou les particules de carbone noir ont également montré leurs impacts sur le climat dus à la forte absorption du rayonnement du soleil, menant à un notable réchauffement local [14].

b) Nuisances Globales

Au niveau global, nous trouverons les émissions de CO₂ et de vapeur d'eau (H₂O) comme les principaux contributeurs au réchauffement climatique.

Les avions sont responsables d'environ 2 % des émissions de CO₂ d'origine humaine, par la combustion de 341 milliards de carburants qui en 2017 a produit 859 millions de tonnes de CO₂. C'est équivalent aux émissions annuelles produites par un pays comme l'Allemagne [15].

Néanmoins, les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) ont un impact sur les concentrations d'autres gaz à effet de serre, principalement sur l'ozone (O₃) et le méthane (CH₄). Les oxydes de soufre (SO_x), les oxydes d'azote (NO_x) et les hydrocarbures (HC) entraînent la production d'aérosols après émission, sans compter que le carbone noir (suie) est un aérosol directement émis. Ces aérosols peuvent modifier les nuages naturels ou déclencher la formation de nuages.



CO₂ and NO_x emissions are continuing to grow

Figure 7. Émissions pendant 1h de vol avec 150 passagers dans un aéronef typique à deux moteurs à combustion.

Les émissions de vapeur d'eau associées à un aérosol émis conduisent à la formation des traînées de condensation puis, elles peuvent devenir persistantes quand elles se confrontent à une humidité ambiante élevée et à des températures basses, ce qui augmente les nuages. Il est possible que ce soit les principales voies par lesquelles les opérations aériennes affectent le climat [12].

Des études révèlent que les apports de CO₂ parvenant de l'aviation sont équivalents à 2 % de la globalité de CO₂ produit par tous les secteurs. Ce chiffre peut ne pas paraître très élevé. ci-dessous, nous trouverons une représentation des émissions globales des Gaz à Effet de Serre par différents secteurs. 13 % de GES correspondent au secteur du transport dont 13 % sont liés à l'aviation. En dissociant le CO₂ des autres gaz, nous ne trouvons que 2 % de CO₂, dont 35 % proviennent du trafic domestique et 65 % du trafic international [16].

INTERNATIONAL AVIATION IN GLOBAL GHG EMISSIONS

Total CO₂ emissions from aviation (domestic and international) account for approximately 2% of total global CO₂ equivalent emissions (IPCC 5th Assessment Report); international aviation accounts for about 1.3% of total global CO₂ emissions.



Figure 8. Émissions de gaz à effet de serre par le secteur de l'aviation civile

En regardant de près les émissions de CO₂ entre les différents modes de transport, avec une mesure en grammes-CO₂ par km-passager, les nouveaux chiffres ne sont pas les plus favorables à l'image du trafic aérien. Voici un graphique comparatif (ci-dessous) de la quantité de CO₂ émis par un voyageur entre Paris et Marseille se déplaçant par train, bus, voiture et avion. Les conclusions démontrent que les émissions entre la voiture et l'avion sont proches, mais mettent en évidence le grand décalage entre le train et l'aéronef [17].

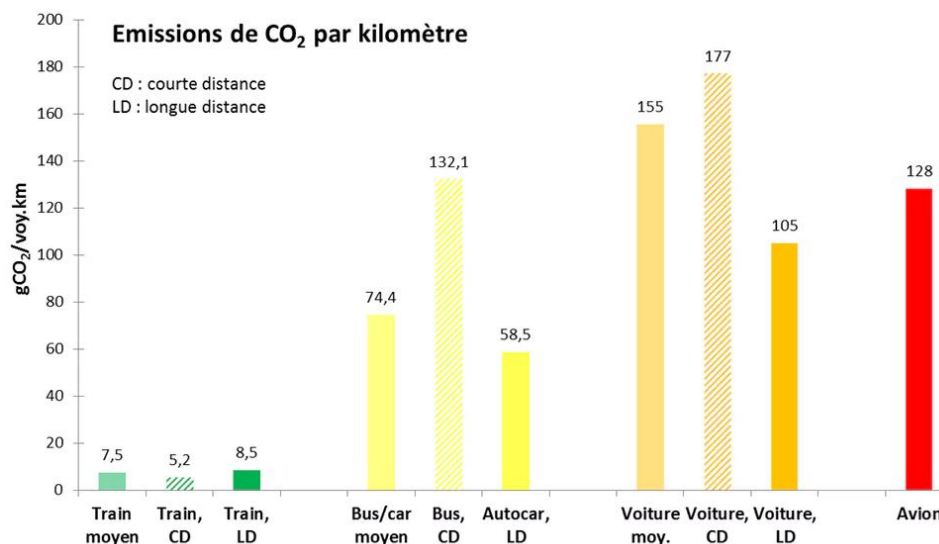


Figure 9. Représentation graphique des émissions de CO₂ par km entre différentes modes de transport. Aurélien Bigot/Données ADEME et ENTD, CC BY-NC-ND

Dans cette même étude, une nouvelle échelle de mesure est proposée. Cette fois, la comparaison est faite en kg de CO₂ émis par Heure de transport. Les résultats pour l'avion ont atteint « les nuages », le graphique précédent a montré qu'un kilomètre en avion et un kilomètre en voiture relâchent environ la même quantité de CO₂. En revanche, 1 heure en avion est 13 fois plus émettrice que la voiture. Mais l'avion a toujours l'avantage face aux autres modes de transport, de parcourir de longues distances dans un temps réduit en rapprochant des continents en moins de 10 heures.

2. Des organismes réglementaires pour lutter contre les émissions de CO₂

Nous verrons les principaux acteurs dans le cadre réglementaire de l'aviation civile. Ils sont organisés à trois niveaux, l'international (a), le régional (b) et le

national - France (c). À chaque niveau, nous trouverons des bases réglementaires créées pour la protection environnementale et la lutte contre le changement climatique.

a) Niveau international

Depuis 1997, avec la signature du protocole de Kyoto, l'Organisation Internationale de l'Aviation Civile (OACI) est devenue l'entité gérante de l'amélioration du transport aérien international en matière environnementale. Cette organisation avait été créée par la Convention de Chicago de 1944 afin de promouvoir le développement sûr et ordonné de l'aviation civile internationale dans le monde. Elle établit les normes et les règlements internationaux nécessaires à la sécurité, la régularité, l'efficacité et l'économie du transport aérien et sert de cadre à la coopération, dans tous les domaines de l'aviation civile entre ses 192 États contractants [18].

Le conseil de l'OACI a créé en 1983, le comité technique de la Protection de l'environnement dans l'Aviation (CAEP) a remplacé les comités sur le bruit des aéronefs et sur les émissions des moteurs d'aéronefs. Le comité est constitué de 25 experts et de 17 observateurs nommés par des États et des organisations internationales. Il est organisé en 9 groupes de travail qui regroupent 600 experts issus d'une trentaine d'États, d'organisations professionnelles ou encore d'ONG environnementales.

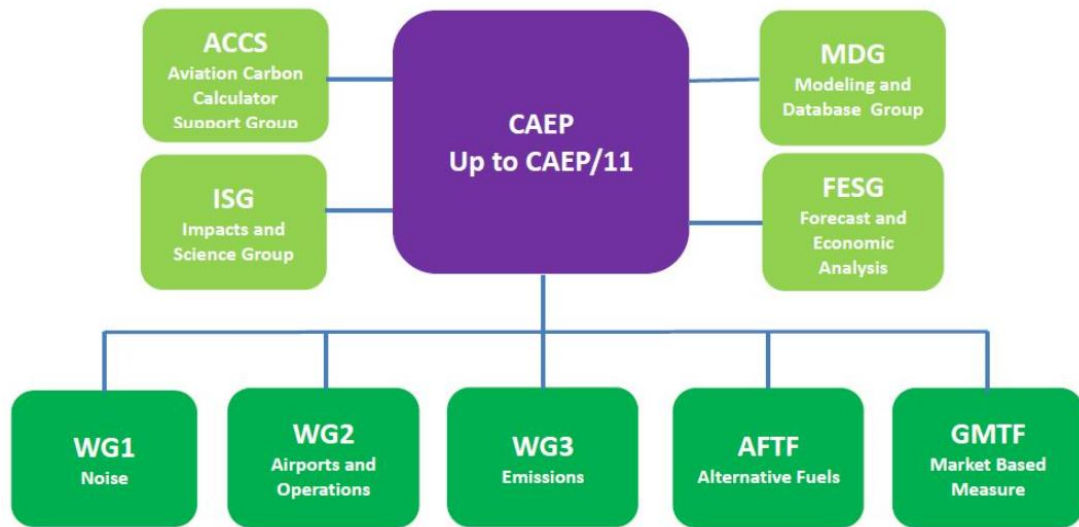


Figure 10. Structure du CAEP Crédits : OACI

Ce comité a pour mission d'assister le Conseil de l'OACI dans la formulation de nouvelles normes et pratiques recommandées en matière environnementale (SARPs)¹⁰ dans les domaines comme le bruit (Annexe 16, Volume I), les émissions des moteurs (Annexe 16, Volume II), les émissions de CO₂ des aéronefs (Annexe 16, Volume III) et les mesures économiques (MBM¹¹), par le mécanisme mondial CORSIA¹² (Annexe 16, Volume IV). *Figure 10*

Les normes sont des spécifications et des procédures reconnues nécessaires et que tous les États membres de l'OACI doivent adopter. Quant aux pratiques recommandées, ce sont aussi des spécifications et des procédures, mais à titre souhaitable auxquelles les États contractants se forceront de se conformer. Dans le cas contraire ils sont invités à en informer le conseil.

¹⁰Standards and Recommended Practices

¹¹Market Based Measure

¹²Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation

La création des normes a comme objectif la mise en œuvre des meilleures techniques disponibles pour la conception des aéronefs et des moteurs. Sa formalisation est représentée par la figure ci-dessous, comme cycles successifs de coopération entre régulateurs et industriels (OACI/CAEP) qui, depuis 40 ans, ont eu une efficacité en matière de bruit et de pollution atmosphérique [19].

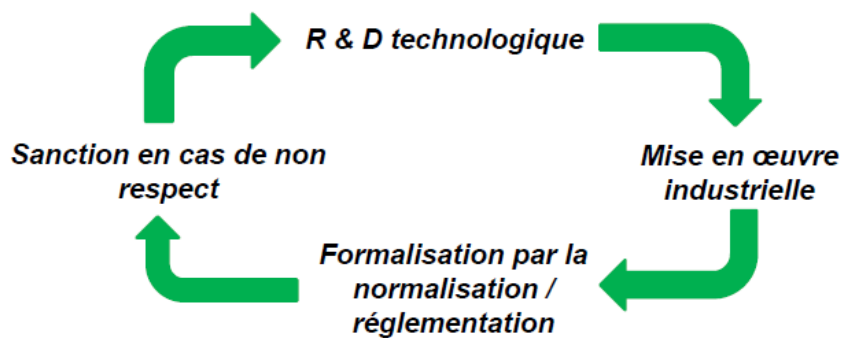


Figure 11. Cycles de coopération entre régulateurs et industriels. Source : [20]

Une fois que les normes sont formalisées dans les annexes correspondantes, chaque État contractant doit mettre en œuvre des SARPs et les transcrire dans ses systèmes nationaux.

b) Niveau européen

L'Agence Européenne de la Sécurité Aérienne (EASA, pour son sigle en anglais), est responsable de la promotion du plus haut niveau de sécurité et de protection environnementale de l'aviation civile en Europe.

La gestion de l'espace aérien en Europe est fragmentée en 28 systèmes de contrôle de la circulation aérienne, en accord avec les limites nationales. Ce système s'avère peu efficace car il génère une augmentation des temps de vols et par conséquent, des retards plus fréquents ainsi qu'une plus grande consommation de carburant des avions.

Routes plus courtes et directes et diminution de consommation du kérosène, voici l'objectif principal du projet du Ciel Unique Européen avec la réduction des 28 blocs nationaux à 9 blocs régionaux. Le projet a été adopté en 2004 (SES 1), mais suite aux faibles résultats obtenus, il a été renforcé en 2009 (SES 2). Puis, a continué à évoluer (SES 2+) afin de rattraper les délais de sa mise en œuvre [21].

Le développement du projet tient compte de l'ensemble de mesures comme l'assignation d'Eurocontrol¹³, la gestion du réseau européen ainsi que l'application de règles et procédures pour la gestion du trafic aérien, la mise en place des Blocs d'Espace Aérien Fonctionnel (FABs), l'amélioration de la performance des services de la navigation aérienne et enfin la modernisation du système avec le programme technologique SESAR¹⁴.

De nouvelles technologies mises en œuvre par le SESAR entre les différents secteurs comme les opérateurs aériens, les aéroports et les prestataires de service de la navigation aérienne, ont permis la gestion plus performante dans

¹³ Est une organisation intergouvernementale européenne, sa mission est l'harmonisation et l'unification la gestion de la navigation aérienne en Europe.

¹⁴Le Programme SESAR (*Single European Sky ATM Research*), est le volet technologique pour la modernisation et recherche du système de gestion du trafic aérien (ATM – *Air Traffic Management*) pour le programme du « ciel unique européen ».

toutes les phases de vols et l'optimisation de trajectoires selon des critères de chaque compagnie. Ces implémentations génèrent des procédures plus précises en réduisant les paliers des vols, ainsi que les bruits et la consommation du carburant. Les résultats sont bénéfiques pour les compagnies aériennes, pour les populations riveraines des aéroports et pour l'environnement. Les objectifs fixés sont de réduire de 10 % l'impact des vols sur l'environnement, de 50 % le coût du contrôle aérien et de décupler la sécurité des vols.

En complément des FABs, en 2010 le FABEC ou bloc d'espace aérien d'Europe Centrale a été créé. Ce nouveau système est composé par l'ensemble de la France, de l'Allemagne, de la Belgique, du Luxembourg, des Pays-Bas et de la Suisse [22]. Sa création a permis de réduire des émissions de GES, grâce à la création de routes directes entre les grandes villes.

L'Union Européenne a tenté de taxer le carburant des avions qui partent des aéroports européens, mais l'opposition des pays en développement, des États-Unis et de la Chine, ont fait arrêter cette option.

La mise en place pour le système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre (ETS) dans le secteur aérien a commencé en 2012 pour tous les vols au départ ou à destination de l'Espace économique européen, mais à nouveau, les protestations des pays tiers ont fait suspendre le dispositif en 2014. La directive est donc modifiée et limitée aux vols intra-européens [20].

Le Conseil Consultatif pour la Recherche Aéronautique en Europe (ACARE) a été créé en 2000 avec l'objectif de faire évoluer le programme de recherche

stratégique (SRA). Le SRA, plus qu'un programme de recherche, était une feuille de route pour l'orientation des stratégies européennes nécessaires en matière de réduction de bruit et des émissions du transport aérien. Pour arriver aux objectifs du programme *Flightpath 2050* de la Commission Européenne, l'ACARE met à jour son programme stratégique de recherche et innovation (SRIA). Cette nouvelle feuille de route est un guide des actions futures pour les programmes de financement publics et privés afin de maintenir la recherche, le développement et l'innovation nécessaires.

Par rapport à la protection de l'environnement et l'approvisionnement d'Énergie, le programme *Flightpath 2050* prévoit 5 objectifs [23]:

- En 2050, 75 % de réduction des émissions de CO₂ et 90 % de NO_x par km-passager ainsi qu'une diminution de 65 % des émissions de bruits des aéronefs. Ces pourcentages sont relatifs aux technologies des aéronefs en 2000.
- Absence d'émissions lorsque les aéronefs roulent.
- Des aéronefs conçus pour être recyclables.
- L'Europe s'est établie comme centre d'excellence en matière de carburants de substitution durable, y compris ceux destinés à l'aviation.
- L'Europe est à l'avant-garde de la recherche atmosphérique et joue un rôle premier dans la formulation d'un plan d'action et de normes environnementales mondiales.

c) En France

La DGAC ou Direction Générale de l'aviation Civile « a pour mission de garantir la sécurité et la sûreté du transport aérien en plaçant la logique du développement durable au cœur de son action. Elle traite de l'ensemble des composantes de l'aviation civile... » [24]. Cette direction est le régulateur du transport aérien et l'interlocuteur entre compagnies aériennes, aéroports, passagers et salariés du transport aérien en matière économique, juridique et sociale [25]. Elle est placée sous l'autorité du Ministère de Transports et sous la responsabilité du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire.

Lutter contre le changement climatique et réduire les nuisances locales du transport aérien sont des fondements principaux de la DGAC dans la transition écologique. Au sein de la DGAC, la Direction de Transport Aérien (DTA) assure le respect de la réglementation environnementale de la part des compagnies aériennes et aéroports. Afin de réduire les nuisances occasionnées par le transport aérien, la DTA restreint aussi l'exploitation (pendant la nuit) des certains aéroports et certains aéronefs. Quant aux pratiques opérationnelles, qui aident aussi à la réduction de bruit et des émissions de GES, c'est la Direction de Services de la Navigation Aérienne (DSNA) qui en a la charge [25].

Le Conseil pour la recherche aéronautique civile (CORAC), mis en place en 2008 suite aux engagements du « Grenelle de l'environnement ¹⁵» en 2007, est conçu pour que les efforts de recherche et d'innovation des nouveaux avions soient en conformité avec les exigences de sécurité, de protection de l'environnement et de concurrence [26].

Une décennie après sa création, le CORAC présente sa nouvelle feuille de route pour répondre à l'amélioration de l'efficacité énergétique de 20 % pour les prochaines générations d'aéronefs. Leur mise en service est envisagée entre 2025 et 2030. En même temps, la filière continue ses travaux vers des avions de rupture, envisagés au-delà de 2030 qui comptent avec des nouvelles configurations et modes propulsifs ainsi que de nouveaux usages. Cette feuille se concentre sur trois axes principaux, l'avion à énergie modernisée, l'avion connecté et autonome et les nouvelles technologies de production [27] [28].

B. DES STRATÉGIES POLITIQUES POUR RÉDUIRE LES IMPACTS CLIMATIQUES

Au niveau mondial, le transport aérien est un secteur en croissance de 5 % annuel qui double tous les 15 ans. Cette tendance génère des inquiétudes concernant l'environnement, dues à l'accroissement des opérations aériennes et avec elles, l'augmentation de leurs émissions de CO₂. Il est évident que pour

¹⁵ « Débuté en juillet 2007, le Grenelle Environnement a réuni des représentants de l'État, des collectivités locales, des ONG, des entreprises et des salariés afin de faire émerger en France des actions en faveur de l'écologie, de l'environnement et de la biodiversité » [62].

assurer une croissance durable de l'aviation, il faut qu'elle prenne au sérieux sa responsabilité environnementale.

C'est la raison pour laquelle l'OACI a établi une stratégie globale pour une croissance neutre de carbone en 2020 (CNG¹⁶ 2020) avec un « panier de mesures » pour faire évoluer le transport aérien international vers une réduction des émissions de CO₂. Ces mesures sont composées de quatre piliers :

- Le progrès technologique (1)
- L'optimisation des opérations aériennes (2)
- Le développement des carburants alternatifs durables (3)
- Les mesures économiques (MBM¹⁷), par le mécanisme mondial CORSIA¹⁸ (Annexe16, Volume IV) (3)

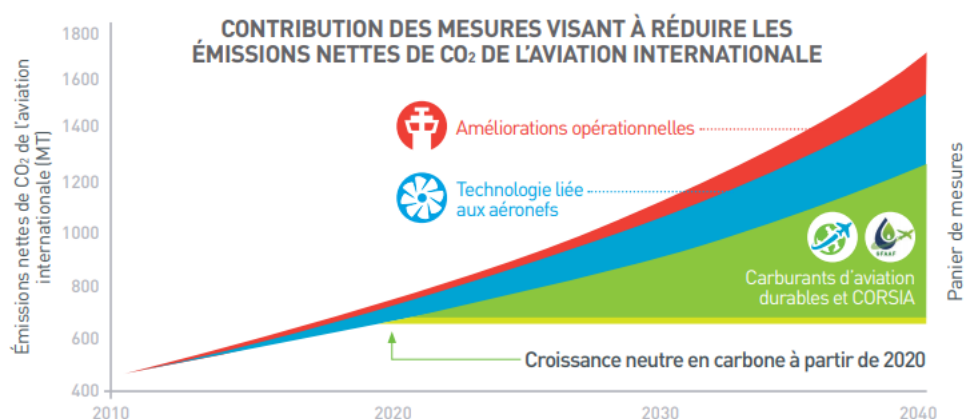


Figure 12. Contribution de CNC2020 et Panier de mesures pour réduire les émissions CO₂ de l'aviation internationale. Source : OACI

¹⁶Carbon Neutral Growth

¹⁷Market Based Measure

¹⁸Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation

Voyons en quoi consiste chacune de ces stratégies et comment elles peuvent être intégrées à la réduction des émissions dans l'aviation.

1. Développement technologique

La réduction de consommation de carburant par les moteurs des aéronefs a toujours évolué au fil des années ce qui favorise notablement la réduction des émissions de CO₂. Nous pourrions penser que tout est gagné, mais cela devient plus compliqué parce que cette nouvelle technologie peut générer plus de Dioxyde d'azote (NO_x).

Dans ces conditions, les limites réglementaires de l'OACI pour la certification des émissions des moteurs deviennent plus restrictives. C'est ainsi que le standard de NO_x des moteurs et le nouveau standard d'avion de CO₂ contribuent, en définitive, à la conception des nouveaux produits qui traitent à la fois des problèmes de qualité de l'air et de changement climatique. De nouvelles mesures incluent aussi la concentration des particules non volatiles (nvPM) que l'EASA compte mettre en œuvre à partir du 1 janvier 2020 [11].

Le projet de moteur ALECSys – Système avancé, de combustion à faible émission, est un concept de moteur pour les aéronefs civils, qui ont une puissance de 30 000 lbf à 100 000 blf. Cette technologie pourrait réduire les émissions de NO_x de 60 % des limites requises par les CAEP/6 ainsi que les nvPM de manière significative [29].

Les alliances entre l'industrie, les États et le secteur universitaire sont aujourd'hui essentielles pour le développement des projets de recherche tant au niveau national, qu'international. Ces collaborations ont octroyé au secteur aérien la possibilité d'avancer technologiquement dans les différentes branches scientifiques de l'aviation comme l'aérodynamique, la propulsion, et les matériaux, en rendant possible la conception d'aéronefs plus respectueux de l'environnement. Néanmoins, les avancées technologiques doivent continuer, car elles sont la promesse du chemin vers une aviation verte.

C'est grâce aux financements des projets qui visent à diminuer les émissions des GES, que les efforts pour limiter le changement climatique, pourront devenir une réalité. C'est la raison pour laquelle, en 2016, l'Union Européenne a accru son engagement économique en faveur du climat et de l'efficacité énergétique à 20.2 milliards d'euros. Quant au secteur aérien, l'UE a investi près de 5 milliards d'euros dans les dix dernières années, ce qui a aidé au déploiement des programmes comme Clean Sky, SESAR, Life, Horizon 2020 [11].

Par exemple, Clean Sky 2 compte sur un budget de 4 milliards d'euros et a comme objectif la réduction des émissions de CO₂, de NO_x et du bruit de 20 % à 30 % par rapport à la technologie de pointe de 2014 utilisée par les aéronefs. Cela a été possible grâce aux innovations technologiques développées dans toutes les branches scientifiques du secteur aérien. Ce programme prévoit que vers 2050, 75 % de la flotte en service ou en commande, sera remplacée par des avions qu'ils auront conçus [11].

Plusieurs projets innovants continuent leur développement dans la recherche pour atteindre une industrie aérienne moins polluante : des avions et des hélicoptères hybrides qui combinent la propulsion avec des batteries électriques, des aéronefs urbains électriques avec un système de décollage et d'atterrissage vertical (VTOL¹⁹), des avions ultra légers grâce aux nouveaux matériaux, pour les sièges ou leur structure, entre autres.

Bien que la technologie évolue constamment et nous donne de l'espoir pour trouver des solutions dans le but de réduire le réchauffement climatique, nous ne pouvons pas ignorer la persistance d'autres problèmes. C'est le cas de l'Halon, un produit qui est encore autorisé dans l'aviation malgré ses impacts destructifs sur la couche d'ozone. Pour l'instant, il n'y a pas de date limite ni de loi dans un avenir proche en vue d'empêcher son utilisation dans l'aéronautique, mais la volonté et les recherches afin de trouver un remplaçant de qualité continuent.

2. L'opérationnel

Une autre manière de diminuer les émissions de CO₂ dans l'aérien est d'améliorer les processus dans le fonctionnement des aéronefs, en mettant en œuvre des procédures plus efficaces qui réduisent la consommation de carburant (moins de carburant, donc moins de CO₂).

¹⁹*Vertical Take-Off and Landing*

Par exemple, des actions comme rouler et voler en suivant des trajectoires, des altitudes et des vitesses plus économes en carburant, utiliser le minimum de carburant pour effectuer le vol en toute sécurité, maintenir la structure et les moteurs d'avion propres et efficaces, maximiser le chargement des aéronefs et éviter les vols à perte, peuvent plus facilement être adoptées par les compagnies aériennes. De plus, le fait de réduire la consommation de kérosène est aussi un grand bénéfice économique pour les compagnies, car le carburant représente près du tiers des coûts au siège/kilomètre.

Avec une croissance globale du trafic aérien, les études chiffrées estiment qu'en 2035, l'Europe devra faire face à près de 14.4 millions de vols en comparaison des 9.5 millions de vols en 2012. Garantir cette demande, mais y arriver en réduisant les impacts sur l'environnement est un grand défi. C'est pour cette raison que le projet du Ciel Unique Européen a pour but « de faire gérer l'espace aérien européen comme si les frontières entre Etats n'existaient plus afin de réduire les surcoûts liés à la fragmentation des services de contrôle» [30]. Leurs 4 objectifs sont :

- Multiplier par trois la capacité du management du trafic aérien (ATM),
- Augmenter la sécurité par dix,
- Réduire de 10 % les émissions de CO₂ par vol,
- Diviser par deux les coûts des services d'ATM [12].

Ce projet est composé de 4 principaux volets [30]:

- **SESAR** : volet technique (modernisation des systèmes de navigation aérienne).

- **Les FABs:** bloc fonctionnel d'espace européen. Le but est de restructurer l'espace aérien européen en 9 blocs (les FABs), non plus en fonction des Etats et de leur frontière, mais en fonction des flux de trafic.
- **Un volet réglementaire** (SES 2+), nécessaire pour moderniser le fonctionnement des prestataires aériens
- **La régulation européenne** (Performance Scheme)

Le Ciel Unique Européen permettra de réduire le temps de roulage et les phases de vol des avions avec le perfectionnement de leurs trajectoires ainsi que d'augmenter la capacité de l'espace aérien, la réduction des émissions et des coûts [16]. Des essais de vols dans le centre de contrôle de l'espace aérien de la Haute-Maastricht, ont démontré que le mode de route libre, a permis de réduire les distances de vol de 5 %, la consommation de carburant et ses émissions de 12 % et de gagner 2 minutes sur le temps de vol.

Des études révèlent que la mise en œuvre des opérations de montée et de descente continue (CCO - CDO) des avions, peut améliorer l'efficacité des opérations typiques de paliers en économisant 48 kg de carburant en CCO et 145kg en CDO. En Europe, cela pourrait se traduire par 350.000 tonnes de kérosène qui correspond à 1,1 million de tonnes de CO₂. Cependant, il faut prendre en compte que certains vols ne peuvent pas fonctionner à 100% en condition de CCO ou CDO, en raison des conditions de sécurité au moment du vol par exemple, la séparation entre avions ou les conditions de météorologie [11].

Voici une liste non exhaustive des initiatives du projet SESAR, qui ont été mises en place ou qui le seront prochainement. Chacune viendra réduire la consommation du kérosène ainsi que les émissions [11].

- Extension de la gestion des arrivées dans l'espace aérien en route (AMAN). Elle permet une gestion du trafic plus fluide grâce à une séquence d'arrivée plus rapide à un point plus éloigné de l'aéroport.
- Séparation pour l'approche finale en fonction du temps. Les séparations actuelles sont remplacées par des intervalles de temps afin de s'adapter aux conditions météorologiques et au maintien de la capacité d'approche des pistes.
- Espace aérien terminal amélioré utilisant des opérations basées sur RNP (Performances de Navigation Requises). Cela permet aux aéronefs de suivre des trajectoires de vol de précision afin de réduire la distance parcourue et d'éviter les zones sensibles au bruit.

Bien que ces initiatives visent à trouver des solutions aux problèmes de la congestion du trafic et du CO₂ dans l'aviation, il y a des analyses qui réfutent ce fait. Marc Gillet, consultant en météorologie et climat, affirme que :

« Avec la croissance du trafic, favorisé par le CUE, le total des km-passagers parcourus augmentera sans doute beaucoup plus rapidement que les émissions de chaque vol ne diminueront : ainsi un doublement des km-passagers sur l'Europe, même accompagné d'une réduction de 20 % des émissions pour chaque km-passager grâce à

l'amélioration du trafic aérien, conduirait mathématiquement à une croissance de 60 % du total des émissions de gaz à effet de serre de l'aéronautique » [31].

Il est clair que la congestion du trafic aérien a augmenté notablement les émissions de CO₂. Néanmoins, cette même congestion a un effet régulateur de la demande, ce qui implique aussi, d'une certaine manière, une réduction des émissions selon le 5^e rapport du groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat GIEC.

En effet, Marc Gillet considère aussi que le Ciel Unique Européen veut réduire le temps d'attente aéroportuaire et fluidifier le trafic dans l'espace aérien en réduisant les coûts des services à la navigation aérienne, ce qui permettra de diversifier les horaires et d'améliorer la ponctualité du service en réduisant en même temps le prix du billet, car les compagnies aériennes auront moins de redevances à payer. Sans doute, l'offre deviendrait plus attractive tant pour les passagers que pour le fret ce qui contribuerait forcément à l'augmentation du trafic aérien. Finalement, l'auteur met en évidence que l'objectif du CUE a surtout une priorité économique, en favorisant la croissance du secteur au lieu de la protection du climat.

3. Carburants alternatifs

Afin de minimiser les impacts causés par les carburants utilisés par l'aviation, trouver d'autres alternatives moins polluantes devient un défi significatif pour le transport aérien.

À la différence des carburants fossiles qui sont utilisés et simplement libérés dans l'atmosphère, les biocarburants se présentent comme une alternative complémentaire pour la réduction des émissions de CO₂ grâce à son cycle court qui donne la possibilité de capter le CO₂ suite à la combustion.

Les biocarburants peuvent se fabriquer à partir de diverses sources comme des résidus forestiers, des matières végétales, des sucres, des algues et des huiles usagées, mais ils doivent être produit avec des contraintes précises. Par exemple, la production doit avoir un coût raisonnable, ne doit pas déplacer l'agriculture dédiée à l'alimentation et ne doit pas contribuer à la déforestation ou à la surexploitation des sols tout en gardant l'objectif de produire moins d'émissions que les carburants traditionnels tant par sa production que par son utilisation [16].

Un des défis les plus importants pour la demande des biocarburants est son prix très élevé face à celui du carburant traditionnel, ce qui limite son déploiement à grande échelle. Un exemple entre le prix du kérosène et le biocarburant provenant des huiles usagées : il est de 600 euros/tonne pour le premier et entre 950 – 1015 euros/tonne pour le bio-jet. Sans tenir compte de la concurrence avec le secteur routier, qui fabrique le biodiesel et le diesel vert aussi avec des huiles de cuisson usées [11].

Néanmoins, l'OACI reconnaît l'importante contribution des bio-fuels pour réduire les GES, raison pour laquelle lors de son Assemblée en 2016, la résolution A39-2 demande aux États membres la mise en place des normes qui accélèrent le processus d'adaptation et d'utilisation des biocarburants. Cet

objectif est à nouveau réaffirmé par le même organisme suite à la conférence de 2017 où est soulignée l'urgence de l'usage des carburants durables, même si le secteur aéronautique commence à développer des aéronefs hybrides ou électriques [32].

Plusieurs initiatives sont en marche depuis presque une décennie pour développer cette industrie. C'est le cas de SkyNRG, créateur d'un marché de carburant durable pour l'aviation depuis 2010. Cette société est à la recherche constante de partenaires afin de trouver des nouvelles formes d'innovation dans le secteur.

De plus, SkyNRG développe des programmes d'approvisionnement de carburant durable régional appelés « BioPorts ». Cette idée propose plus que la réduction des émissions de CO₂, c'est également une opportunité de développement économique pour les régions qui utilisent les matières premières les plus favorables pour la production du bio jet. Avec ce modèle, la compagnie espère aussi attirer l'intérêt des investisseurs de différents secteurs tant dans le privé que dans le public, pour faciliter le développement de cette industrie. Dans l'actualité, Karlstad, Brisbane et les Pays Bas comptent déjà un BioPort [12].

Les aéroports d'Avinor à Oslo et à Bergen sont devenus les premiers à offrir à toutes les compagnies aériennes du carburant durable sur une base commerciale. Ils en ont vendu au total 1 325 millions de litres en 2016 et 2017.

En outre, Airbus offre à ses clients la possibilité de livrer les avions avec un pourcentage de biocarburant dans leurs réservoirs depuis 2016. Aujourd'hui,

la compagnie a livré 23 de ses avions avec cette méthode et continue à étudier le moyen d'intensifier l'usage des biocarburants dans ses opérations [11].

Velocys est une compagnie britannique dédiée à la production des biocarburants. Sa vision est la création, en 2022, de la première usine productrice au niveau commercial de carburant durable pour l'aviation à partir de déchets ménagers. Ses calculs concluent que pour une production de près de 30 000 tonnes par an, l'économie en CO₂ serait d'environ 60 000 tonnes par an. Grâce à son objectif de durabilité, l'entreprise compte sur une subvention de la part du gouvernement britannique qui voit son potentiel pour atteindre les objectifs de réduction d'émission de CO₂ du pays [11].

4. Mesures fondées sur le marché

Jusqu'à maintenant, nous avons parcouru trois systèmes différents qui sont à la recherche continue de solutions pour atténuer les nuisances sur l'environnement causées par l'aviation. Néanmoins, ces mesures technologiques et opérationnelles ne sont pas suffisantes face au problème climatique. C'est la raison pour laquelle des mesures à caractère économique deviennent un complément nécessaire.

Ces mesures économiques ambitionnent le changement des comportements des acteurs à l'origine de la pollution, en fixant un prix sur leurs émissions. Ce mécanisme est composé de deux piliers, les écotaxes et les permis négociables

ou mesures fondées sur le marché. Mais avant de nous centrer sur le dernier mécanisme, regardons en quoi consistent les Écotaxes.

a) Les écotaxes

Dans l'aviation, il y a deux modes principaux de prélèvement économique, les taxes et les redevances. La première regroupe des impôts destinés aux pouvoirs publics et la deuxième comprend les coûts des installations et des services dédiés au transport aérien.

L'aviation internationale est considérée comme une activité peu taxée, néanmoins elle est imposée par différents États avec des types de taxes distincts qui ne sont pas forcément investis dans le même secteur aéronautique ou dans l'environnement. M. Tetsuya Tanaka, Responsable de l'Environnement (émissions) à la Sous-Division de l'environnement de la Direction du transport aérien de l'OACI nous présente dans son article publié sur le Journal de l'OACI en 2011, une liste de quelques taxes imposées au transport aérien.

- Taxe sur les passagers aériens (Australie, Irlande, Jamaïque, Niger, Pakistan, Paraguay). Jusqu'à 34 euros/PAX²⁰, selon la distance parcourue et le type de vol (international/national).

²⁰Passager

- Taxe sur le transport aérien (Albanie, États-Unis, République dominicaine, R.-U.). Jusqu'à 120 euros/PAX, selon la distance parcourue et le type de vol (international/national) et de classe.
- Taxe sur l'aviation civile (Azerbaïdjan, Croatie, France, Sao Tomé-et-Principe, Suède). Jusqu'à 7 euros/PAX, selon la distance parcourue et le type de vol (international/national) et de classe.
- Taxe au départ/taxe du gouvernement ; prélèvement sur les voyages aériens (Allemagne, Arménie, Autriche, Bermudes, Bosnie-Herzégovine, Égypte, Liban, Libéria, Mauritanie, Syrie, Ukraine). Jusqu'à 45 euros/PAX, selon la distance parcourue et le type de vol (international/national).
- Taxe pour le développement (Bénin, Cameroun, Gambie). Jusqu'à 22 euros/PAX.
- Taxe de solidarité (Bénin, Burkina Faso, Corée du Sud, Côte d'Ivoire, France, Madagascar, Mali, Maurice, Niger, République du Congo). Jusqu'à 40 euros/PAX, selon la distance parcourue et le type de vol (international/national) et de classe.
- Taxe sur le tourisme (Bénin, Burkina Faso, Colombie, Costa Rica, Côte d'Ivoire, El Salvador, Équateur, Gambie, Jamaïque, Mali, Mexique, Népal, Nicaragua, Niger, Pérou, Rép. dém. du Congo, Saint-Kitts-et-Nevis, Venezuela, Yémen). Jusqu'à 21 euros/PAX.

Une taxation de carburant est en général considérée comme un bon moyen pour réduire les émissions de GES. Si nous adoptons cette politique dans le secteur aérien, elle impliquerait forcément une augmentation du prix du billet. Néanmoins, au niveau international, l'OACI a stipulé dans l'article 24 de la Convention de Chicago, l'exception des taxes sur les fournitures techniques pour les aéronefs par exemple, le carburant ou les lubrifiants. L'OACI recommande aux États membres, que « tout prélèvement lié aux émissions revête la forme de redevances plutôt que de taxes et que les fonds ainsi recueillis soient utilisés en premier lieu pour atténuer l'incidence sur l'environnement, des émissions des moteurs d'aviation » [33].

Les écotaxes visent la protection de l'environnement à l'aide de l'imposition des taxes qui estiment la valeur d'une nuisance écologique générée par un secteur. C'est un instrument utilisé par les États sur le principe de *pollueur – payeur*²¹. Une taxe carbone est un impôt dédié aux émissions de CO₂. Un des premiers pays d'Europe à adopter cette mesure a été la Suède en 1991. Ensuite, le Danemark, la Norvège, la Finlande, la Suisse et l'Irlande ont aussi opté pour cette démarche [3].

La Suède a démontré de façon globale que l'écotaxe a accompli son objectif en diminuant les émissions des GES de 8 à 9 % depuis son instauration. Sans cette mesure, les émissions de CO₂ auraient continué en croissant de 20 %. Le gouvernement suédois considère que cette « fiscalité verte » est une initiative

²¹ Le principe de pollueur-payeur dispose que « les frais résultants des mesures de prévention, de réduction de la pollution et de lutte contre celle-ci sont supportés par le pollueur » selon l'article L. 110-1 du Code de l'environnement. Son objectif principal est de réduire les impacts des activités polluantes sur l'environnement et favoriser les activités non polluantes. [61]

de succès et partage l'idée qu'elle soit implantée au niveau de l'Union européenne.

Bien que cette incitation ait entraîné une baisse des émissions ainsi qu'une contribution économique annuelle de 1,4 milliard d'euros, des études indiquent que dix ans après son instauration, le développement technologique en Biomasse avait été limité [34].

b) Les permis négociables

Le protocole de Kyoto signé en 1997 a introduit l'initiative d'un mécanisme international d'échange de permis d'émission. Ce modèle est adopté et considéré par l'OACI et les États membres comme une solution efficace et complémentaire des trois autres piliers déjà vus pour contribuer à la réduction des émissions de CO₂ produites par l'aviation. Il comporte deux mesures fondées sur le marché, une de quotas d'émission qui consiste en l'achat de quotas d'émissions d'un pays de l'annexe B qui n'a pas réussi son objectif de réductions des émissions à un autre pays qui a réduit ses émissions au-delà des objectifs. La seconde mesure comporte des projets qui génèrent des crédits. Autrement dit, les quotas dépassés pourront s'échanger avec les crédits d'émission acquis grâce aux projets de réductions de GES [3].

La Nouvelle-Zélande compte avec un système d'échange de droits d'émission. Ce régime impose aux fournisseurs de carburant plutôt qu'aux consommateurs et transporteurs d'anticiper les achats des droits des

émissions qui résultent de leur vente de carburant. L'effet d'augmenter le prix du carburant incite, dans le cas des compagnies aériennes domestiques, à améliorer leur efficacité énergétique pour minimiser la consommation de carburant. Par exemple, elles peuvent investir en biocarburants puisqu'elles sont exemptées du système [35].

En 2008, les activités aériennes ont été incluses dans le système européen d'échanges de quotas d'émission, en faisant partie des objectifs de réduction de GES (20 % en 2020 et 40 % en 2030). Au début, cette mesure s'appliquait à tout vol qui arrivait ou qui partait de l'Espace économique européen. Cependant, une dérogation temporaire a exclu les vols vers ou d'un pays en dehors de la zone économique européenne jusqu'à 2023. Cette condition a été créée afin de favoriser les négociations d'une mesure globale fondée sur le marché par l'OACI lors de la 39^e assemblée de 2016 [11].

Maintenant que ce schéma de compensation et de réduction des émissions de carbone dans l'aviation internationale (CORSIA²²) a été approuvé, l'UE examinera l'inclusion de l'aviation dans son système d'échange d'émissions.

A partir de 2020, les émissions de CO₂ seront compensées par le mécanisme CORSIA. Il est composé de trois phases : la phase pilote (2021 – 2023), la première phase (2024 – 2026) et la seconde phase (2027 – 2035). Les États volontaires ne participent qu'à la phase pilote et à la première phase. Pour la seconde phase, le mécanisme sera appliqué à tous les États sauf les moins

²²*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*

développés, les petits États insulaires et les pays en développement sans littoral, sauf s'ils décident d'adhérer de manière volontaire.

À partir de cette année, tous les États membres de l'OACI doivent suivre, mesurer et vérifier (MRV²³) les émissions de CO₂ des vols internationaux. Le système CORSIA ne sera appliqué qu'aux vols internationaux effectués entre deux États participants. Par exemple, sur la Figure 13 (ci-dessous), nous verrons que les mesures du CORSIA seront exigées uniquement quand les vols sont effectués entre les États A, B et D. Cependant, si un de ces États fait un vol vers l'État C (qui ne participe pas au CORSIA), à ce moment-là les compensations de carbone ne sont exigées pour aucun État. Les mesures des émissions seront exigées dans tous les cas.

Au 16 juillet 2019, 81 pays font partie du groupe de volontaires pour participer au CORSIA. Cela représente 76.63 % de l'activité de l'aviation civile internationale, comme le confirme l'OACI sur son site web [36].

²³Monitoring, Reporting and Verification

APPROCHE FONDÉE SUR LES ROUTES

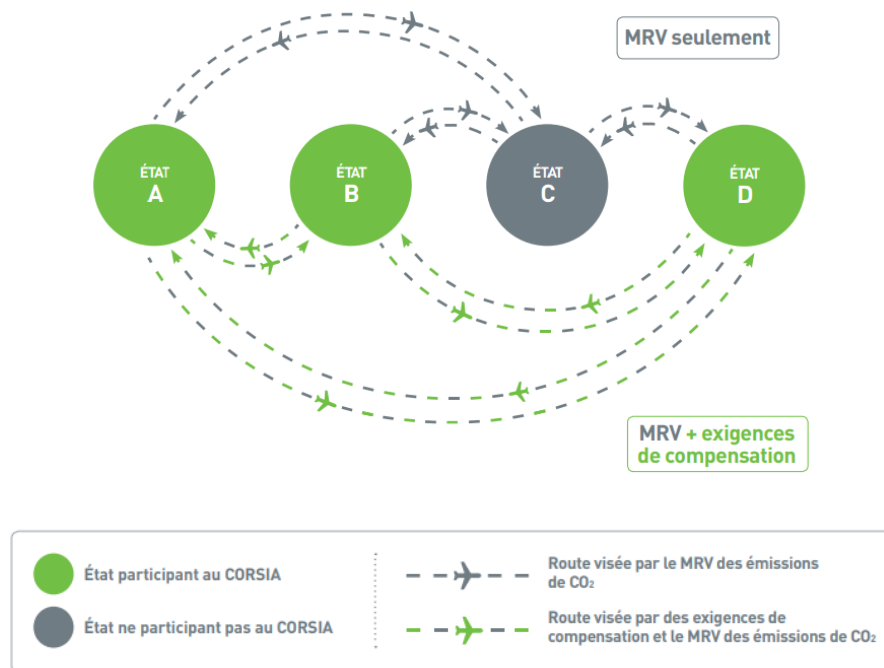


Figure 13. Exigences MRV et CORSIA

Plus les états participent au programme, plus il devient efficace. En effet, il y aura plus d'émissions couvertes qui vont générer plus de besoin d'unités (ou quotas) pour compenser et d'autre part seront générés, des investissements en projets qui réduisent ces émissions.

Une étude, réalisée par le comité d'environnement de CE Delft en 2016, affirme qu'environ un cinquième des émissions carbone cumulées entre 2021 et 2035 sera compensé par CORSIA. Elle met aussi en évidence que toutes les émissions des vols internationaux qui sont couvertes uniquement par CORSIA incluent également tous les pays qui ne sont pas membres [37].

En effet, le CAEP a fait une étude des réductions de carbone grâce à l'implantation de CORSIA. Cette analyse est présentée sur deux scénarios possibles (Figure 14). En 2025, l'estimation de compensation de CO₂ serait de 142 à 174 millions de tonnes et de 443 à 596 millions de tonnes de CO₂ en 2035 [12].

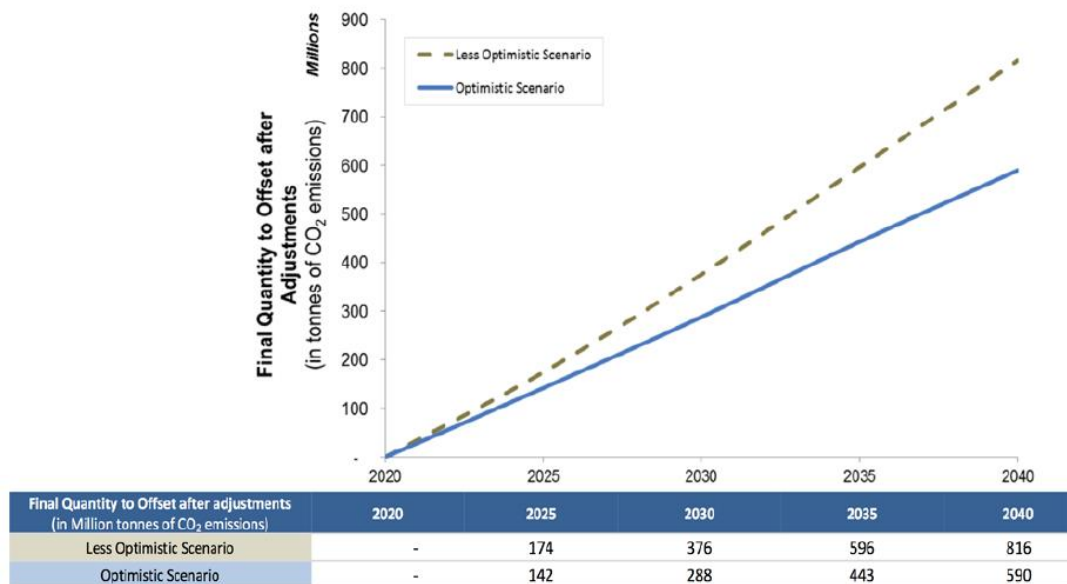


Figure 14. Quantités finales de réduction de carbone. Source : CAEP

Cette analyse a aussi révélé les coûts d'implantation du système, auxquels les entreprises de l'aviation internationale devront faire face. De l'ordre de 0.2 à 0.6 % des recettes totales en 2025 et de 0.5 à 1.4 % en 2035.

Néanmoins, l'IATA affirme que les coûts liés à la mise en œuvre des mesures globales basées sur le marché devraient avoir un impact moins fort que ce qui pourrait être généré par la volatilité du prix du carburant [12].

II. LE CO2 AU CŒUR DES COMPAGNIES AÉRIENNES ET DE LEUR ADAPTATION

Les compagnies aériennes sont les premières à être pointées du doigt parmi tout le secteur aérien pour leurs émissions de CO₂. Une situation difficile à changer ? due à leur dépendance aux carburants pour exercer leur activité. Néanmoins, elles prennent des initiatives pour améliorer cette condition et aller plus loin que les normes l'exigent.

Cette partie est dédiée dans un premier temps à l'intérêt des compagnies aériennes pour collaborer dans une démarche de carbone neutre (A). Ensuite, nous aborderons les contraintes qu'une démarche économique pourrait générer sur les compagnies (B).

A. LES ACTIONS DES COMPAGNIES AÉRIENNES POUR RÉDUIRE LEURS IMPACTS SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Bien que les compagnies aériennes travaillent pour contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique, l'implantation des actions pour y arriver a un

coût qu'elles doivent assumer. Il est plus simple de comprendre, que ces coûts, sont considérés comme débours monétaires, pour la mise en place d'une démarche de développement durable, qui permettra le respect des normes et des exigences environnementales. Mais nous pouvons nous demander ce qui peut motiver les compagnies pour continuer à investir dans cette filière ?

L'hypothèse de Porter²⁴ considère qu'une réglementation environnementale bien conçue, n'est pas forcément un désavantage pour la compétitivité de la firme. Au contraire, elle pourrait augmenter la productivité et lui donner des avantages compétitifs, par rapport aux concurrents non soumis aux mêmes normes [38].

M. Porter affirme que les réglementations environnementales pourraient garantir un niveau technologique efficient et plus propre pour toutes les compagnies, qui bénéficieraient d'un côté à l'environnement, et de l'autre aux firmes en réduisant leurs coûts et en augmentant leur productivité. Des gains en compétitivité seront obtenus grâce aux instruments économiques (écotaxes, permis de marchés), qui stimulent l'innovation dans les entreprises pour diminuer la pollution et leur donnent la possibilité d'avantages dans le marché « *first mover* ».

Cependant, il existe des théories qui contredisent l'hypothèse de Porter. Elles considèrent que des réglementations environnementales n'accélèrent pas forcément les innovations pour l'environnement de même que l'avantage du

²⁴ Michael Porter. Economiste et professeur à l'Université de Harvard

first mover est une condition temporaire puisque la concurrence viendra s'adapter rapidement.

Voyons des actions concrètes des compagnies aériennes qui investissent pour réduire ses émissions de GES (1) et pour aider à lutter contre le réchauffement climatique (2).

1. L'innovation afin de réduire la consommation de kérosène

« L'innovation correspond à la mise en œuvre de nouvelles technologies, de nouveaux usages ou de nouvelles méthodes » [39].

En effet, c'est grâce à la constante innovation du secteur aérien qu'aujourd'hui l'aviation compte avec différents éléments pour réduire ses émissions de CO₂.

D'une part, il y a de nouvelles procédures qui réduisent la consommation de carburant des moteurs des avions (innovation de processus) et des aéronefs de dernière génération qui sont moins gourmands en kérosène (innovation technologique). Ces mécanismes génèrent aussi une réduction des coûts de carburants fossiles pour les compagnies aériennes.

D'autre part, bien que l'utilisation partielle de biocarburants (innovation incrémentale), a un prix très élevé, elle permet de considérer la possibilité de

sortir de la dépendance absolue du kérosène, avec un produit plus respectueux de l'environnement.

Voici quelques exemples concrets des compagnies aériennes qui investissent pour minimiser leur empreinte de carbone.

En 2011, KLM a opéré le premier vol commercial fourni en biocarburant grâce à SkyNRG. Depuis, la société a reçu des demandes de bio-fuel par plusieurs compagnies aériennes telles que Finnair, Alaska Airlines, Etihad, Qantas Australie, LAN Chili et Air Canada. En raison des coûts élevés des biocarburants, des stratégies sont créées pour son financement. Par exemple, KLM *Corporate BioFuel* a lancé un programme en 2012 qui offre aux entreprises clients de KLM comme Nike, ABN AMRO et Accenture, la possibilité de réduire l'empreinte Carbone de leurs vols d'affaires en volant en partie avec du biocarburant. C'est ainsi que KLM et SkyNRG ont réussi à avoir la première série de vols hebdomadaires avec bio fuels entre Amsterdam et New York.

Plus récemment, la compagnie Finnair a commencé à opérer certains vols avec un mélange de 12 % de Biocarburant fabriqué à partir d'huiles de cuisson usagées. Cette initiative lui permet de réduire jusqu'à 32 tonnes de CO₂ un vol entre San Francisco et Helsinki dans un Airbus A330-300 [40].

Le groupe IAG²⁵ se démarque aussi par sa recherche dans l'efficacité énergétique. AIG a intégré de nouveaux avions dans sa flotte tels que Boeing

²⁵*International Airlines Group*. Comprend les compagnies aériennes Iberia, British Airways, Level, Vueling et AerLingus.

787 et Airbus A350 / A320neo qui représentent 20 % de plus d'efficacité énergétique en comparaison avec les aéronefs remplacés. Cette initiative additionnée à l'optimisation des opérations tant en vol qu'au sol a généré en 2017 un gain de 2.6 % de carbone en comparaison avec 2016. Cela se traduit par 80 000 tonnes de CO₂ économisées. Le groupe a mis en œuvre l'utilisation du logiciel d'économie du carburant de la compagnie Honeywell « GoDirect » depuis 2017. Il permettra la collecte d'informations de consommation de carburant et le partage des pratiques les plus efficaces avec les cinq compagnies [11].

United Airlines veut marquer l'histoire en devenant la première compagnie aérienne à utiliser de manière continue des biocarburants ainsi qu'à voler avec les nouveaux *winglets Split Scimitar de Boeing* capables de réduire 2 % de consommation du carburant. La compagnie a effectué le vol le plus respectueux de l'environnement le 5 juin 2019 (jour de l'environnement), avec 30 % de biocarburant. Cela lui a permis de réduire de 60 % des émissions des GES en comparaison des carburants communs [41].

United Airlines compte non seulement une flotte moderne très efficace énergétiquement, mais elle a adapté ses procédures opérationnelles pour réduire la consommation de carburant et plus de 70 % des opérations au sol utilisant des équipements électriques réduisent les émissions de 90 % [41].

Air France en partenariat avec Airbus, Safran, Suez et Total a lancé une étude de biocarburants durables pour l'aviation en France. Selon Sandra Combet, responsable des énergies nouvelles et bio fuels d'Air France, les biocarburants

provenant des huiles usagées sont considérés comme les plus prometteurs grâce à leur encadrement dans une économie circulaire et à leur recyclage. Air France a réalisé 78 vols commerciaux entre Paris et Toulouse à base de biocarburant et les résultats ont démontré qu'il n'y a pas d'impact sur la performance des moteurs et présentent un avantage opérationnel, puisque les procédures pour le personnel au sol n'ont pas besoin d'être modifiées [42].

Plus récemment, le groupe Air France – KLM a confirmé une commande de 60 nouveaux avions de Airbus A220 – 300 qui permettra la modernisation de sa flotte, en remplaçant progressivement les avions A318 et A319 [43].

Le CEO du groupe, Benjamin Smith affirme que ces nouveaux aéronefs, « génèrent 20 % d'émissions de CO₂ en moins comparé à des appareils de leur catégorie, et sont deux fois moins bruyant » [44].

2. Autres stratégies pour compenser les émissions de CO₂

Nous avons vu jusqu'ici, les actions les plus remarquables que les compagnies mettent en œuvre pour réduire leur empreinte carbone causée par le trafic aérien. Rappelons – en quelques-unes :

- Operations au sol et au vol plus performantes qui réduisent la consommation de carburant.
- Utilisation de biocarburants
- Participation au marché européen de quotas
- Rénovation de la flotte

- Participation aux COSIA

Nous pourrions aussi nous demander s'il existe d'autres moyens d'agir pour atteindre l'objectif de réduire les émissions.

Stéphane Cueille, le directeur de la recherche du groupe Safran, leader mondial des systèmes électriques aéronautiques, affirme que les progrès des moteurs électriques ouvrent une nouvelle piste pour de futurs modèles d'aéronefs. Des taxis-volants qui, associant une turbine à gaz à des moteurs électriques et des drones de livraison, pourront être en service dans une vingtaine d'années.

Bien que la complexité d'un avion long-courrier 100 % électrique soit encore loin de devenir une réalité, d'autres projets pour des aéronefs plus petits pourront contribuer à faire baisser les émissions grâce à la motorisation hybride. C'est un système qui associe aux moteurs classiques, des moteurs électriques. Par exemple le projet d'un avion à 12 places pour des distances de 400 à 500 km qui réduirait jusqu'à 50 % de ses émissions déclare Stéphane Cueille [45].

La compagnie aérienne Finnair avec son programme de réduction des émissions « *Push for Change* », vise l'implication des passagers désireux de contribuer à réduire leur empreinte de carbone, en payant volontairement une taxe de compensation qui varie respectivement entre 1, 2 et 6 euros, pour les allers – retour pour des vols en Finlande, en Europe ou vers un autre continent. La compagnie donne aussi la possibilité aux passagers de soutenir d'autres projets écologiques comme par exemple, la réduction de consommation de charbon au Mozambique [40].

Air France en partenariat avec l'association *A Tree For You* (ATFY), a créé le programme « *trip and tree* » qui offre aux passagers la possibilité de participer aux projets de reforestation en France ou dans le monde. La contribution est facultative pour le passager et à caractère personnel. Des passagers voyageant ensemble peuvent faire des dons de façon individuel et celui qui est résident fiscal français peut bénéficier de près de 66 % de déduction fiscale des versements, dans la limite de 20 % de ses revenus imposables [46].

B. TRANSITION : UN RISQUE DE DISTORSION DE CONCURRENCE

Paul Steele, Directeur de l'environnement en aviation à l'IATA, affirme que « Si les MBM ne sont pas harmonieuses et cohérentes, elles risquent d'entraîner de l'inefficacité et de la distorsion de concurrence ». En complément, il signale le fait que l'aviation est soumise à un système de taxes à plusieurs niveaux, locaux, nationaux, régionaux et internationaux et dans le cas de l'environnement, un passager est susceptible de payer deux fois ses émissions sans l'assurance que ces fonds soient investis à des fins environnementales. [47].

C'est pourquoi seule une mesure économique harmonisée au niveau global pourrait éviter des problèmes de coordination qui affecteraient l'efficacité du transport aérien et plus précisément des compagnies aériennes.

Des taxes carbone sont de plus en plus fréquentes dans différents Etats (1), elles sont mises en œuvre pour inciter à changer des comportements polluants ainsi que pour se conformer à l'engagement sur l'environnement.

Cependant, les écotaxes sont hautement considérées comme une source d'affaiblissement concurrentiel pour les compagnies aériennes qui doivent en supporter le coût. C'est ainsi que les compagnies trouvent de nouvelles stratégies pour s'adapter aux contraintes environnementales (2).

1. La souveraineté des États et la protection de l'environnement, un regard sur l'écotaxe dans les compagnies aériennes.

La préoccupation de la réduction des émissions de gaz à effet de serre a généré un nouveau mouvement pour l'environnement en Suède depuis la fin 2018. Le « Flygskam », mieux connu comme « la honte de prendre l'avion » [48], prend de l'ampleur dans ce pays selon les chiffres présentés par l'agence suédoise de transports. On note une baisse de 4,4 % du nombre de passagers sur une année dans l'ensemble des 38 aéroports du pays. A contrario, le secteur ferroviaire affiche des bénéfices, le principal opérateur du pays SJ AB présentant une croissance de 10 % de son chiffre d'affaires du premier trimestre 2019.

La Suède a imposé récemment une nouvelle taxe à l'aviation, ce qui pourrait expliquer la réduction du nombre de passagers à cause de l'augmentation du prix du billet.

Le secteur du transport aérien devrait-il s'inquiéter de ce type de mouvements pour la préservation du climat ?

Alexandre de Juniac, directeur général de IATA, affirme son inquiétude sur ce sujet et considère que c'est le résultat dû, en partie, à la méconnaissance des mesures incitatives que l'aviation a prise pour minimiser le problème des émissions de carbone. M. de Juniac insiste sur la nécessité de faire connaître les actions et l'engagement du secteur aérien en faveur de l'environnement.

L'aviation est un secteur très taxé en général. En France, il existe différentes taxes, telles que la TVA de 10 % sur les vols domestiques, la taxe aéroportuaire qui finance la sécurité dans les aéroports, la taxe de l'aviation qui permet la régularisation du transport aérien, la taxe sur les nuisances sonores et la « taxe Chirac » ou de solidarité. Sur un billet d'avion de 100 euros, 30 % sont ainsi prélevés en moyenne au titre de ces taxes, confirme Paul Chiambaretto, professeur à la Montpellier Business School et chercheur associé à Polytechnique, spécialiste du transport aérien [49].

De plus, le 9 juillet 2019, lors du Conseil de défense écologique, Elisabeth Borne, actuelle ministre de la Transition écologique et solidaire, a annoncé une nouvelle taxe pour le transport aérien. Elle commencera à s'appliquer à partir de 2020 pour tous les vols au départ de la France, sauf les vols en correspondance ainsi que ceux au départ vers la Corse et l'Outre-mer [50].

La nouvelle éco-contribution pourrait rapporter 180 millions d'euros par an. Cette taxe varierait entre 1.5 euro par billet en classe économique et 9 euros en classe affaire pour les vols domestiques et européens. Pour les vols en dehors de l'Union européenne, elle s'élèverait respectivement à 9 euros en classe économique et 18 euros et en classe affaire [51].

Anne Rigail, directrice générale d'Air France, a confirmé dans un interview sur France Info que cette taxe n'affectera pas les prix des billets pour les passagers en raison de la concurrence du marché. Néanmoins, la compagnie estime que ce nouveau projet lui coûtera près de 60 millions d'euros par an [52]. Elle considère que c'est une taxe très pénalisante puisque 50 % des activités sont au départ de la France et surtout sur le réseau intérieur et elle ne comprend pas que les profits soient consacrés au financement d'autres modes de transports au lieu de la transition énergétique dans l'aviation [50].

L'IATA considère que l'imposition des nouvelles taxes dans le secteur aérien génère des impacts négatifs sur la demande globale du transport aérien dus à la sensibilité des prix de billets. Des passagers peuvent choisir de ne pas voyager en raison du prix élevé et donc, se tourner vers autres modes de transport. Par conséquent, les compagnies aériennes seront directement affectées en limitant leur capacité d'investir dans les nouvelles technologies plus propres. Bien que ce type de politique environnementale ait un objectif durable, leurs recettes ne sont pas forcément investies dans des projets qui visent à atténuer les impacts de l'aviation sur l'environnement, pour cette raison, c'est une politique jugée inefficace par certains acteurs [53].

Pour l'OACI, une mesure économique de taxation des émissions carbone du transport aérien international deviendra incompatible avec la résolution 39-3 de l'Assemblée de l'OACI qui stipule le projet CORSIA comme la mesure du marché applicable à l'aviation internationale. L'Organisation réaffirme cette posture dans le document OACI 8632, en notant que « chaque État contractant doit réduire dans toute la mesure du possible et élaborer des plans en vue d'éliminer... toutes les formes de taxation de la vente ou de l'utilisation du transport international par air, y compris les taxes sur les recettes brutes des opérateurs et les taxes perçues directement sur les passagers ou les expéditeurs» [53].

Pourtant, la Commission Européenne a commandé une étude à l'ONG Transport & Environnement, afin d'évaluer la possibilité d'une taxe sur le kérosène des avions pour faire baisser les émissions de CO₂. En considérant une valeur de 0.33 euro par litre de kérosène vendu en Europe, l'étude a révélé une possible réduction de 11 % en carbone, c'est-à-dire 16.4 millions de tonnes de CO₂ par an et près de 27 milliards d'euros en chiffres d'affaires chaque année [54].

De plus, cette étude a affirmé que la taxe n'aurait pas d'impacts négatifs socio-économiques sur le secteur aérien. Mais, pour l'instant, l'adoption d'une nouvelle taxe sur l'aviation en Europe reste encore en discussion à la Commission européenne.

2. La résilience des compagnies. Vers un nouveau modèle de service ?

Le transport aérien subit de nombreux changements dans un contexte globalisé, c'est un marché qui doit s'adapter rapidement pour respecter toutes les contraintes. Des stratégies ont surgi au long des années, telles que les alliances « Skyteam » ou « Star Alliance » où pour la première fois des compagnies aériennes se regroupaient, afin de proposer aux clients une gamme d'offres plus large, ainsi que des contrats adaptés de coopération commerciale, des mécanismes de financement des contrats de location et d'affrètement des aéronefs, un nouveau modèle de service low-cost, etc. Dans ce contexte, l'innovation pour se mettre au niveau des règlements environnementaux doit se mettre en place d'urgence.

Le réchauffement climatique continue à croître et génère donc des changements du climat comme des tempêtes plus fréquentes, des changements de vent, des augmentations des turbulences, l'élévation du niveau de la mer entre autres. Ces événements vont créer forcément des impacts sur les opérations de transport aérien et il faudrait aussi prendre des mesures nécessaires pour s'adapter. Par exemple, l'OACI a inclus un nouveau chapitre sur l'adaptation au climat lors de la planification aéroportuaire dans le manuel de planification des aéroports [12].

Face à l'évident changement climatique, les actions pour limiter des émissions de CO₂ du secteur aérien sont à chaque fois, plus contraignantes et ses impacts devraient être assumés par les compagnies aériennes comme des opportunités

pour devenir plus performantes, en particulier dans un marché qui est hautement concurrentiel. Ainsi, des objectifs économiques de croissance pour les compagnies aériennes devront venir accompagner des stratégies, qui forcément prennent en compte une protection de l'environnement.

Néanmoins, ce protectionnisme environnemental produit certains impacts sur les compagnies aériennes puisque les coûts d'investissement pour réduire leurs émissions en renouvelant la flotte par exemple ne s'arrêtent pas avec l'achat des avions de dernière génération. Dans ce cas, les compagnies doivent aussi garantir la formation du personnel navigant correspondant aux nouveaux aéronefs et également celle des mécaniciens. C'est un coût qui peut varier de dizaines à des centaines de milliards d'euros.

En effet, une flotte moderne présente un intérêt pour une compagnie aérienne puisqu'elle permettra de réduire ses coûts en maintenance et en kérosène en même temps qu'elle améliorera le confort des passagers et surtout réduira leurs impacts sur l'environnement.

Le libre accès au marché pourrait être limité aux nouvelles compagnies, qui devront être confrontées à la mise en place des critères supplémentaires pour la protection environnementale. Car, ces firmes auront besoin des financements plus lourds si elles décident de consolider leur exploitation. A contrario, si la compagnie opte pour des avions anciens (moins chers), les coûts de pénalisation, causés par leur niveau de pollution, vont entraver leur

expansion. Ce mouvement ouvre la possible tendance d'un oligopole²⁶ aux principaux acteurs du marché, pour en citer quelques-uns comme Air France, Lufthansa ou British Airways, affirme Olivier Saissi, Maître de Conférences en Sciences de Gestion à l'Université de la Nouvelle-Calédonie [55].

C'est ainsi que l'innovation joue un rôle très important pour les compagnies aériennes afin de garantir leur part du marché avec un engagement plus respectueux sur l'environnement.

Une étude révèle la sensibilité des passagers pour les problèmes environnementaux, les résultats indiquent que 10 % des passagers ont diminué l'utilisation du transport aérien et que 3 % envisagent de l'arrêter. Ce qui représente plusieurs millions de personnes.

Les transporteurs aériens doivent se conformer aux politiques environnementales exigées, en même temps qu'ils garantissent leur adaptation et leur rendement économique. C'est ainsi que l'aviation internationale devient le premier secteur économique à concevoir un mécanisme global pour maîtriser ses émissions de carbone.

Une innovation sociale permettrait aux compagnies d'élaborer des nouvelles réponses à des besoins sociaux actuels du marché, en impliquant la participation et la coopération des acteurs concernés, notamment des utilisateurs et usagers.

²⁶ Oligopole ou marché oligopolistique, lorsque la plus grande part d'un marché est détenue par un nombre très limité d'acteurs

L'incitation pour développer des liaisons multimodales s'accroît, et crée de nouvelles alliances pour s'adapter aux différentes contraintes du marché.

Par exemple, la compagnie aérienne HOP ! (Filiale d'Air France) s'est associée avec OUI bus pour élargir ses services avec de connexion avion – bus. Ce service combiné permet la desserte entre l'aéroport de Lyon Saint-Exupéry et 5 villes de la région Auvergne-Rhône-Alpes, dont Chambéry, Grenoble, Saint-Chamond, Saint-Étienne et Vienne [56].

Cet exemple de coopération entre les compagnies aériennes et les compagnies ferroviaires est intéressant. Même si, depuis toujours, elles ont été considérées comme des concurrentes directes, elles décident d'évoluer en complétant leur service et leur demande.

En France, la SNCF a un partenariat avec plusieurs compagnies aériennes pour relier par TGV des voyageurs de 19 gares de province ou même de Bruxelles avec les aéroports de Roissy CDG et d'ORLY pour leurs vols internationaux. Ce nouveau service présente non seulement la garantie de la correspondance pour le passager, mais également d'autres avantages comme la prise en charge, en cas de retard ou d'annulation, des tarifs avantageux et l'opportunité aussi de cumuler des points de fidélité selon la compagnie aérienne. Actuellement, la liste de compagnies qui font partie de ce partenariat est composée d'Air France, Air Austral, Air TahitiNui, Corsair, Etihad Airways, Qatar Airways, Vietnam Airlines, Air Transat, Royal Jordanian, French Bee, Emirates, Cathay Pacific, Air India et Air Caraïbes [57].

Les résultats des enquêtes effectués par la DGAC révèlent une évolution progressive de l'intermodalité avion-train. Entre 2011 et 2014 le nombre de passagers qui ont opté pour ce mode de voyage a été multiplié par 1.5 à l'aéroport Roissy CDG et par 2.7 à Lyon Saint-Exupéry.

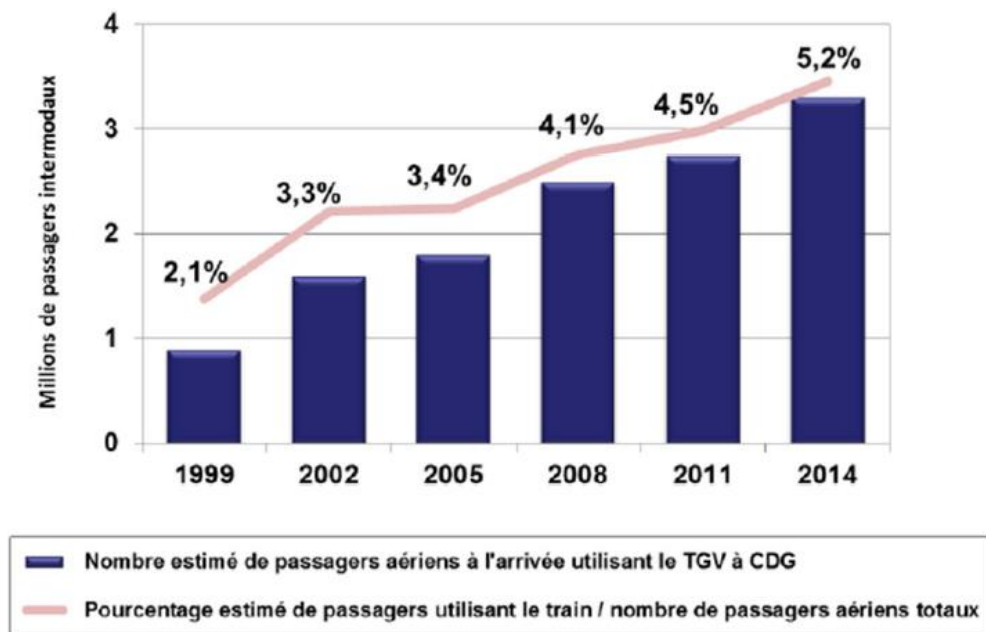


Figure 15. Enquête complémentarité modale avion - train Source : DGAC/DTA/SDE1

Ce choix multimodal existe dans d'autres compagnies aériennes en dehors de la France, par exemple Lufthansa a créé une alliance avec la compagnie ferroviaire Deutsche Bahn en reliant Cologne et Stuttgart avec l'aéroport de Francfort par des trains de grande vitesse ICE [58].

Austrian Airlines entre aussi dans cette démarche. La compagnie aérienne qui a déjà une coopération avec la Compagnie des chemins de fer fédéraux autrichiens (ÖBB) pour le transport des passagers, étend maintenant cette coopération au transport du personnel navigant. Chaque mois, Austrian Airlines fait une demande de réserve pour son équipage. C'est une démarche

moins coûteuse et plus soucieuse de l'environnement. Ainsi l'affirme le plus récent rapport environnemental de l'aviation européenne publié par l'EASA, qui présente des actions des compagnies aériennes qui cherchent à contribuer à réduire leurs émissions de CO₂.

CONCLUSION

Parvenu au terme de notre analyse, nous pouvons répondre à la problématique posée : **comment modifier les comportements et faire évoluer le secteur aérien sous la contrainte environnementale ?**

Nous avons parcouru certaines problématiques environnementales que l'activité aérienne présente, mais également les actions adoptées ou en cours de mise en œuvre dans les compagnies aériennes, afin de réduire leur empreinte carbone. Le défi pour les compagnies est aussi de garantir leur compétitivité tout en respectant l'environnement.

Face à cette situation, nous avons constaté que les différentes mesures proposées par le secteur aérien, tels que les technologiques, les actions opérationnelles, les biocarburants et les mesures de marché (ETS - CORSIA), apportent, dans différentes proportions, des réductions des émissions des gaz à effet de serre. Ce « panier de mesures » contribue non seulement à lutter contre le réchauffement climatique, mais il stimule également le secteur aérien pour continuer à développer des projets de recherche et d'innovation puisque cela lui garantit aussi sa propre productivité.

Quant aux écotaxes pour le transport aérien, elles peuvent devenir efficaces pour réduire les émissions à court terme, mais à long terme, elles ne représentent pas une solution, si les fonds obtenus ne sont pas investis dans des programmes de protection de l'environnement ou dans des avancées technologiques dans le même secteur aérien.

Cependant, les compagnies aériennes devront savoir s'adapter et surtout, continuer le processus pour devenir plus respectueuses de l'environnement. Bien qu'elles aient déjà innovées sur différents aspects, maintenant, agir vers une innovation sociale paraît approprié. La sensibilité actuelle (en Europe) des passagers, sur la protection de l'environnement et leur disposition à titre volontaire de payer un surcoût et ainsi participer à la réduction de leur empreinte carbone est un atout pour les compagnies. Afin de renforcer cette opportunité, il serait important d'améliorer la communication du secteur en démontrant à quel point il est engagé pour l'environnement.

Une autre piste à explorer afin de réduire l'empreinte carbone serait de mettre en valeur des liaisons intermodales, avion – bus (électrique) et train – avion pour les aéroports reliés au réseau ferroviaire et ainsi assurer des connexions sécurisées pour les vols internationaux. Les liaisons intermodales pourraient faire évoluer notre façon de nous déplacer, en faisant ressortir le meilleur de chaque mode de transport et en agissant en synergie au bénéfice du climat.

« Le GIEC rappelle qu'il n'y aura pas de politique d'atténuation efficace si les acteurs individuels défendent uniquement leurs intérêts propres » [59]

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Débat sur l'urgence climatique à l'Assemblée Nationale*, 2019.
- [2] WWF, «Ce lundi 29 juillet, l'humanité a épuisé les ressources renouvelables de la planète,» 29 juillet 2019. [En ligne]. Available: <https://www.wwf.fr/>. [Accès le 2019].
- [3] E. Arnaud, A. Berger et C. d. Perthuis, *Le développement durable. Repères pratiques*, Paris: Nathan, 2008.
- [4] leclimatchange.fr, «attenuations des changements,» [En ligne]. Available: <https://leclimatchange.fr/attenuations-des-changements/>.
- [5] ATAG, «Aviation: Benefits Beyond Borders 2018 report,» 2018.
- [6] U. WTO, «Tourism Highlights,» 2018. [En ligne].
- [7] IATA, «THE IMPORTANCE OF AIR TRANSPORT TO FRANCE,» 2019.
- [8] WFP, World Food Programme, «WFP Aviation,» 2015.
- [9] Chiambaretto, «The Role of Air Transport in Economic Development,» 2016.
- [10] UNESCO, «Global Mobility Trends Release,» 2017. [En ligne]. Available: <http://uis.unesco.org/>.
- [11] EASA, «European Aviation Environmental Report,» 2019.
- [12] ICAO, «Environmental Report,» 2016.
- [13] S. Stansfeld, B. Berglund, C. Clark et e. al., «Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study,» 2005.

- [14] ICAO, «ICAO_2013_Environmental_Report,» 2013.
- [15] EDGAR database, «EU Joint Research Centre,» 2016. [En ligne]. Available: bit.ly/2O7bcbH.
- [16] OACI, delegation France, «L'OACI et la lutte contre le changement climatique,» 30 07 2019. [En ligne]. Available: <https://oaci.delegfrance.org/Dossier-la-protection-de-l-environnement>. [Accès le 31 07 2019].
- [17] A. Bigo, «le monde de l'énergie,» 24 06 2019. [En ligne]. Available: <https://www.lemondedelenergie.com/impact-transport-aerien-avion-carbone/2019/06/24/>. [Accès le 2019].
- [18] J. Laborde, *Cours Droit Aérien*, Aix en Provence, 2019.
- [19] R. Mauri, *Organisations Internationales, réglementation, contribution de l'aviation à la lutte sur le changement climatique. Séminaire Développement Durable et Transport Aérien - IFURTA*, Aix en provence, 2018.
- [20] O. Cherel, *Introduction aux enjeux environnementaux de l'aviation civile - Séminaire Développement Durable et Transport Aérien. IFURTA*, Aix en provence, 2018.
- [21] Parlement Européen, «qu'est-ce que le ciel unique européen,» 30 janvier 2014. [En ligne]. Available: http://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/economy/20140129_STO34174/qu-est-ce-que-le-ciel-unique-europeen. [Accès le 14 Aouût 2019].
- [22] Ministère de la transition écologique et solidaire, «ciel unique européen,» 19 octobre 2016. [En ligne]. Available: <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/ciel-unique-europeen>. [Accès le 2019].
- [23] ACARE, «sria,» [En ligne]. Available: <https://acare4europe.org/about-acare>. [Accès le 2019].

- [24] DGAC, «direction-generale-laviation-civile-dgac,» 31 juillet 2019. [En ligne]. Available: <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/direction-generale-laviation-civile-dgac>. [Accès le 2019].
- [25] DGAC, «Plaquette_DGAC_construire_ciel_demain.pdf,» 2019. [En ligne]. Available: https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Plaquette_DGAC_construire_ciel_demain.pdf. [Accès le 2019].
- [26] CORAC, «Présentation du corac,» [En ligne]. Available: <https://aerorecherchecorac.com/item-a-propos/historique/>. [Accès le 2019].
- [27] CORAC, «Feuille de Route,» [En ligne]. Available: <https://aerorecherchecorac.com/programme/>. [Accès le 2019].
- [28] H. Cormier, «Nouvel plan de vol pour le CORAC,» *Aviation Civile. Le magazine de la direction générale de l'aviation civile*, n° %1387, p. 11 et 12, juin 2019.
- [29] EASA, «European Aviation Environmental Report,» 2016.
- [30] G. Lachenaud, *Seminaire Compagnies Aériennes - IFURTA - Redevances aéroportuaires et de navigation aérienne*, Aix en Provence, 2019.
- [31] M. Gillet, «LE PROGRAMME « CIEL UNIQUE EUROPÉEN »... AU DÉTRIMENT DU CLIMAT,» *Natures Sciences Sociétés*, vol. 23, n° %14, pp. 408-414, 2015.
- [32] H. Cormier, «Développer une filière de biocarburants aéronautique,» *Magazine de la Direction Générale de l'aviation Civile*, n° %1387, p. 13, 2019.
- [33] T. Tanaka, «Une taxation du carbone est dans l'air...,» *Journal de l'OACI*, n° %13, p. 8, 2011.

- [34] S. Baudry, «LA TAXE CARBONE : UN BILAN DE L'EXPÉRIENCE SUÉDOISE,» *Regards croisés sur l'économie*, vol. 2, n° 16, p. 142 à 144, 2009.
- [35] M. Hutton et J. Scherzer, «Incidences du régime néo-zélandais d'échange de droits d'émission sur l'aviation,» *Journal de l'OACI*, n° 13, p. 16 à 19, 2011.
- [36] OACI, «CORSA States for Chapter 3 State Pairs,» [En ligne]. Available: <https://www.icao.int/>. [Accès le 09 08 2019].
- [37] E. Schep, A. van Velzen et J. Faber, «A comparison between CORSIA and the EU ETS for Aviation,» 2016.
- [38] V. Brun, *Cours M1 - Economie de l'environnement*, Aix en provence.
- [39] C. Afouda, *Seminaire Tourisme et Marketing - Innovation et marketing au sein d'Air France*, Aix en provence, 2019.
- [40] Air Journal, «Finnair relie San Francisco à Helsinki avec du biocarburant,» *Air Journal*, 2019.
- [41] T. Blancmont, «United Airlines opère le vol le plus vert,» *Air-journal*, 2019.
- [42] Engagement pour la croissance verte, *Des biocarburants pour les transports aériens ?*, 2018.
- [43] P. Pavani, «Air France-KLM commande 60 A220-300 à Airbus,» *Ouest France*, 30 Juillet 2019.
- [44] F. Duclos, «Air France : écotaxe sans impact sur les prix, A220 allongé,» *Air Journal*, 06 Août 2019.
- [45] B. Tredevic, «L'aéronautique poursuit sa longue marche vers le zéro CO2. Les échos,» 31 05 2019. [En ligne]. Available: <https://www.lesechos.fr/amp/1025387>. [Accès le 2019].

- [46] «trip and tree, Air France,» [En ligne]. Available: <https://www.airfrance.fr/FR/fr/common/transverse/footer/edito-trip-and-tree.htm>. [Accès le 11 08 2019].
- [47] OACI, «Aviation et environnement : Une feuille de route pour des MBM globales et efficaces,» *Journal de l'OACI*, vol. 66, n° 13, pp. 13, 14, 2011.
- [48] S. Amsili, «En Suède, la « honte de prendre l'avion » plombe déjà le trafic aérien,» *Les Echos*, 20 avril 2019.
- [49] F. Pouliauen, «Le transport aérien échappera-t-il encore longtemps à une taxe ou nom de la lutte contre le réchauffement climatique ?,» *20 Minutes*, 6 mars 2019.
- [50] F. Duclos, «Ecotaxe sur les billets d'avions : colère générale,» *Air Journal*, 10 Juillet 2019.
- [51] Ministère de la Transition écologique et solidaire, «Projet de loi d'orientation des mobilités : le Gouvernement présente ses orientations pour le financement de la programmation des infrastructures,» 9 Juillet 2019. [En ligne]. Available: <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/> [Accès le 11 Août 2019].
- [52] A. Rigail, Interviewee, *directrice générale d'Air France*. [Interview]. 2 Août 2019.
- [53] IATA, «“Green” Taxes».
- [54] R. Moraes, «Environnement : l'Union européenne planche sur une taxe kérosène,» *Air Journal*, 19 mai 2019.
- [55] O. SAISS, «Développement durable et concurrence La coexistence impossible ? Le cas du transport aérien européen,» *La Revue des Sciences de Gestion, Direction et Gestion*, vol. 1, n° 1241, p. 101 à 108, 2010.
- [56] HOP !, «Et HOP! en route,» [En ligne]. Available: <https://www.hop.com/service/et-hop-en-route>. [Accès le Août 2019].

- [57] SNCF, «OUI SNCF,» 2018. [En ligne]. Available: <https://agence-voyage.oui.sncf/vol/tgvair>.
- [58] O. Saissi, «DÉVELOPPEMENT DURABLE ET CONCURRENCE. LA COEXISTENCE IMPOSSIBLE ? Le cas du transport aérien européen,» *La Revue des Sciences de Gestion*, n° 1241, p. 101 à 108, 2010.
- [59] «attenuations des changements,» [En ligne]. Available: <https://leclimatchange.fr/attenuations-des-changements/>. [Accès le 2019].
- [60] ACNUSA, «La pollution de l'air,» [En ligne]. Available: <https://www.acnusa.fr/fr/la-pollution-de-lair/pollution-atmospherique-et-activites-aeroportuaires/113>. [Accès le 2019].
- [61] novethic, «principe-pollueur-payeur,» [En ligne]. Available: <https://www.novethic.fr/lexique/detail/principe-pollueur-payeur.html>. [Accès le 2019].
- [62] *connaissancedesenergies*, «fiche-pedagogique/grenelle-environnement,» 31 mai 2017. [En ligne]. Available: <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/grenelle-environnement>. [Accès le 2019].
- [63] I. Aptel, «Aviation et changement climatique. Étude de l'efficacité des instruments de réduction de gaz à effet de serre dans le secteur aérien,» Aix en Provence, 2017.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
I. LE TRANSPORT AERIEN ET LA LUTTE CONTRE LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE.....	10
A. LES ACTEURS DU TRANSPORT AERIEN FACE AUX IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU SECTEUR.....	10
1. L'activité aérienne et ses impacts sur l'environnement	11
a) Nuisances locales.....	11
b) Nuisances Globales	15
2. Des organismes réglementaires pour lutter contre les émissions de CO ₂	18
a) Niveau international.....	19
b) Niveau européen.....	21
c) En France	25
B. DES STRATÉGIES POLITIQUES POUR RÉDUIRE LES IMPACTS CLIMATIQUES.....	26
1. Développement technologique.....	28
2. L'opérationnel	30
3. Carburants alternatifs.....	34

4.	Mesures fondées sur le marché.....	37
a)	Les écotaxes.....	38
b)	Les permis négociables.....	41
II.	LE CO2 AU CŒUR DES COMPAGNIES AÉRIENNES ET DE LEUR ADAPTATION	46
A.	LES ACTIONS DES COMPAGNIES AÉRIENNES POUR RÉDUIRE LEURS IMPACTS SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE	46
1.	L'innovation afin de réduire la consommation de kérosène	48
2.	Autres stratégies pour compenser les émissions de CO2	51
B.	TRANSITION : UN RISQUE DE DISTORSION DE CONCURRENCE	53
1.	La souveraineté des États et la protection de l'environnement, un regard sur l'écotaxe dans les compagnies aériennes.....	54
2.	La résilience des compagnies. Vers un nouveau modèle de service ?	58
	CONCLUSION	64
	BIBLIOGRAPHIE	66
	TABLE DES MATIERES	72
	TABLE DES ILLUSTRATIONS	74
	RESUME	1

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1. Jour de dépassement mondial	2
Figure 2. Emissions des GES annuelles d'origine anthropique. Source : leclimatchange.fr	4
Figure 3. Distribution des émissions GES par secteur Source : leclimatchange.fr	4
Figure 4. Croissance économique du trafic aérien	8
Figure 5. Sources d'émissions polluantes aéroportuaires. (Source : ACNUSA).	13
Figure 6. Comparaison relative de la taille d'une nvPM de la turbine d'un avion avec autres particules. (Source : OACI)	14
Figure 7. Émissions pendant 1h de vol avec 150 passagers dans un avion typique à deux moteurs à combustion.....	16
Figure 8. Émissions de gaz à effet de serre par le secteur de l'aviation civile	17
Figure 9. Représentation graphique des émissions de CO ₂ par km entre différents modes de transport. Aurélien Bigo/Données ADEME et ENTND, CC BY-NC-ND	18
Figure 10. Structure du CAEP Crédits : OACI	20
Figure 11. Cycles de coopération entre régulateurs et industriels. Source : [20]	21
Figure 12. Contribution de CNC2020 et Panier de mesures pour réduire les émissions CO ₂ de l'aviation internationale. Source : OACI.....	27

Figure 13. Exigences MRV et CORSIA.....	44
Figure 14. Quantités finales de réduction de carbone. Source : CAEP.....	45
Figure 15. Enquête complémentarité modale avion - train Source : DGAC/DTA/SDE1.....	62

RESUME

Face à l'urgence climatique, le transport aérien doit prendre au sérieux sa part de responsabilité et agir rapidement pour mettre en œuvre des mesures concrètes afin de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Il se pose la question de **comment modifier les comportements et faire évoluer le secteur aérien sous la contrainte environnementale ?** Nous étudierons les actions mises en place par les acteurs du secteur aérien qui permettent de réduire leurs impacts sur l'environnement ainsi que l'adaptation des compagnies aériennes pour garantir leur compétitivité.

MOTS CLES

Changement climatique ; gaz à effet de serre ; innovation ; stratégies

SUMMARY

Faced with the obvious climate emergency, air transport must take its share of responsibility seriously and act quickly to implement concrete measures to reduce their greenhouse gas emissions in the atmosphere. It raises the question of how to modify the behaviors and to evolve the air sector under the environmental constraint. We will study actions implemented by the actors of the air sector which allow reducing their impacts on the environment as well as the adaptation of the airlines to guarantee their competitiveness.

KEYWORDS

Climate change ; greenhouse gas ; innovation; strategies