

# Introduction d'une taxe sur les billets d'avion en Suisse : effets estimés sur la demande



## **Introduction d'une taxe sur les billets d'avion en Suisse :**

### **Effets estimés sur la demande**

#### *Livre blanc E4S*

Philippe Thalmann, Fleance Cocker, Pallivathukkal Cherian Abraham, Marius Brülhart, Nikolai Orgland, Dominic Rohner, Michael Yaziji.

Juin 2021

© Enterprise for Society (E4S), 2021

E4S bénéficie du soutien financier de l'Université de Lausanne, de l'IMD et de l'EPFL.

Ce livre blanc a été préparé par la plateforme Politique environnementale du Enterprise for Society Center (E4S). Les membres de la plateforme sont : Marius Brülhart, Pierre-Marie Glauser, Rafael Lalive, Dominic Rohner, Simon Scheidegger, Mathias Thoenig (tous UNIL-HEC), Ralf Boscheck, Michael Yaziji (IMD), Philippe Thalmann, et Gaetan de Rassenfosse (EPFL).

Photo de couverture par [AmarnathTade](#), téléchargée sur Unsplash.

## Table des matières

Résumé exécutif .....	5
1 Introduction.....	7
2 La contribution du transport aérien au réchauffement de la planète .....	10
2.1 Impact complet de l'aviation sur le climat .....	10
2.2 Impact climatique du transport aérien suisse.....	12
2.3 Caractéristiques des voyages aériens au départ de la Suisse.....	14
2.4 Projections de la demande .....	16
2.5 Projections de l'efficacité du carburant .....	17
2.6 Projections des émissions.....	18
2.7 Décomposition des émissions du transport aérien .....	19
3 Comment limiter l'impact de l'aviation - premiers principes et politiques existantes .....	21
3.1 Premiers principes .....	21
3.2 Politiques existantes de l'OACI .....	22
3.3 Politiques existantes de l'Union européenne .....	24
3.4 Politiques existantes et prévues en Suisse .....	24
4 Effets d'une taxe sur les billets d'avion - le rôle de l'élasticité de la demande.....	26
4.1 Élasticités de la demande .....	26
4.2 Littérature sur les élasticités de la demande de transport aérien.....	27
4.3 Élasticités utilisées pour nos simulations.....	29
5 Effets d'une taxe sur les billets d'avion - simulations .....	31
5.1 Cadre de modélisation .....	32
5.2 Données et calibrage .....	34
5.2.1 <i>Les passagers</i> .....	34
5.2.2 <i>Distances</i> .....	35
5.2.3 <i>Impact sur le climat</i> .....	36
5.2.4 <i>Prix</i> .....	40
5.2.5 <i>Élasticités</i> .....	41
5.3 Scénarios de barème de taxation.....	42
5.3.1 <i>Barème de taxation de la loi sur le CO<sub>2</sub> et taxe implicite sur le CO<sub>2</sub></i> .....	42
5.3.2 <i>Scénarios de barème de taxation à simuler</i> .....	44
5.4 Simulations du modèle.....	45
5.4.1 <i>Barème de taxation selon la loi sur le CO<sub>2</sub></i> .....	46
5.4.2 <i>Barème de taxation selon la loi sur le CO<sub>2</sub> avec croissance</i> .....	47

5.4.3	<i>Barème de taxation analogue à celui de la uk duty</i> .....	48
5.4.4	<i>Barème de taxation selon la taxe sur le CO<sub>2</sub></i> .....	48
5.4.5	<i>Comparaison de tous les scénarios</i> .....	49
5.5	Effets distributifs de la taxe sur les billets d'avion .....	50
5.6	Limites des simulations.....	51
5.7	Discussion de ces résultats .....	52
6	Autres mesures visant à réduire l'impact de l'aviation sur le climat.....	54
6.1	Aperçu .....	54
6.2	Réduire la demande de transport aérien .....	56
6.2.1	<i>Approches volontaires</i> .....	56
6.2.2	<i>Mesures réglementaires</i> .....	57
6.2.3	<i>Mesures de la quantité</i> .....	57
6.2.4	<i>Mesures de prix</i> .....	59
6.2.5	<i>Autres mesures</i> .....	60
6.3	Réduire l'offre de transport aérien .....	61
6.3.1	<i>Approches volontaires</i> .....	62
6.3.2	<i>Mesures réglementaires</i> .....	62
6.3.3	<i>Mesures de la quantité</i> .....	63
6.3.4	<i>Mesures de prix</i> .....	64
6.4	Améliorer les coefficients de remplissage .....	65
6.4.1	<i>Mesures réglementaires</i> .....	65
6.5	Réduire l'impact des avions sur le réchauffement climatique .....	66
6.5.1	<i>Approches volontaires</i> .....	72
6.5.2	<i>Mesures de la quantité</i> .....	72
6.5.3	<i>Mesures de prix</i> .....	73
6.5.4	<i>Autres mesures</i> .....	75
6.6	Conclusions concernant des mesures supplémentaires visant à réduire l'impact de l'aviation sur le climat.....	76
7	Conclusion .....	77
	Références .....	79
	Annexe : Terminologie .....	87
	Contact .....	89
	À propos de E4S .....	89

# Résumé exécutif

L'impact climatique total des émissions des avions s'élève à trois fois celui des émissions directes de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) en raison des autres composants de ces émissions qui ont un effet sur le climat à haute altitude (vapeur d'eau, oxydes d'azote, dioxyde de soufre, suie).<sup>1</sup> Avec ce facteur trois, les voyages aériens internationaux des résidents suisses représentaient plus d'un quart de l'impact climatique des émissions suisses en 2019. Néanmoins, la Suisse n'avait pas de politique climatique spécifique pour l'aviation internationale jusqu'en 2020. Les résidents suisses sont de grands voyageurs et prennent l'avion presque deux fois plus souvent que les résidents des pays voisins. Même dans le cadre d'un scénario optimiste de développement technologique et d'une croissance un peu plus lente du nombre de passagers après le COVID-19, l'impact de l'aviation suisse sur le réchauffement climatique pourrait augmenter d'un tiers d'ici 2050 par rapport à 2019. Cela serait difficile à concilier avec l'objectif « zéro émission nette » du Conseil fédéral.

Lors de la révision de la loi sur le CO<sub>2</sub> de 2011, le Parlement suisse a introduit une taxe sur les billets d'avion de 30 à 120 CHF, selon la classe de voyage et la distance parcourue. Nous estimons l'impact possible d'une telle taxe sur le volume futur des voyages en avion. À cette fin, nous avons développé et calibré un modèle dynamique de la demande de voyages aériens et de son impact climatique. Les principaux paramètres sont les élasticités de la demande, que nous avons dérivées d'une revue de la littérature internationale. Nous utilisons le modèle pour simuler l'impact de différents barèmes de taxes sur les billets d'avion sur la demande de transport aérien, sous l'hypothèse simplificatrice d'une demande isoélastique et d'une offre parfaitement élastique.

Dans le cadre d'une légère simplification du barème des taxes proposé, nos simulations de base supposent que les vols court-courriers seront soumis à une taxe sur les billets de 30 CHF en classe économique et de 60 CHF en classe premium, tandis qu'une taxe de 90 CHF en classe économique et de 120 CHF en classe premium sera appliquée aux vols long-courriers.<sup>2</sup> Nos simulations suggèrent qu'un tel barème de taxes réduirait le nombre de passagers de 13 à 21%, selon les élasticités supposées. Il semble plausible qu'après l'expérience COVID-19, les élasticités de la demande pour les voyages aériens soient plus proches de la borne supérieure, en particulier pour les voyages liés au travail. Dans ce cas, le nombre de passagers diminuerait de 21%. Les émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation, quant à elles, diminueraient de 16%, soit un peu moins que la diminution du nombre de passagers, car le barème des taxes de la loi sur le CO<sub>2</sub> mène à une augmentation moindre, en termes relatifs, du

---

<sup>1</sup> Dans des évaluations antérieures, également réalisées par nous, le facteur couramment utilisé était de deux, mais de nouvelles connaissances sur le forçage radiatif par les composants non-CO<sub>2</sub> des émissions des avions ont conduit à la révision de ce facteur.

<sup>2</sup> La simplification est que nous ne considérons pas les vols moyen-courriers comme une catégorie distincte.

prix des vols long-courriers que celui des vols court-courriers. Étant donné que les vols long-courriers sont responsables de 60% de l'impact climatique de l'aviation, mais ne représentent que 20% des passagers, l'efficacité climatique d'une taxe sur les billets tend à augmenter avec la progressivité du barème fiscal, et ce malgré les élasticités-prix plus faibles dans le segment long-courrier.

Si l'on considère l'impact climatique total du vol court-courrier moyen en classe économique, une taxe sur les billets d'avion de 30 CHF équivaut à un prix de 92 CHF par tonne de CO<sub>2</sub>eq, ce qui est proche du taux de la taxe CO<sub>2</sub> existante sur les combustibles de chauffage et de transformation (96 CHF par tonne de CO<sub>2</sub>). Étant donné que le vol long-courrier moyen en premium avec escale est plus de 16 fois plus polluant que le vol court-courrier moyen en classe économique, il est impossible qu'une taxe limitée à une fourchette de 30 à 120 CHF puisse refléter de manière adéquate l'impact climatique des différents segments de vol. En outre, l'ajout de 30 CHF pour les sièges premium par rapport aux sièges économiques, quelle que soit la distance du vol, est une approximation assez grossière de l'impact climatique supplémentaire attribuable aux sièges plus larges. En conséquence, le vol long-courrier moyen en premium ne serait taxé qu'à un taux implicite de 24 CHF par tonne de CO<sub>2</sub>eq selon le barème proposé, alors que le vol court-courrier moyen en premium serait taxé à un taux implicite de 123 CHF par tonne de CO<sub>2</sub>eq.

L'écart entre les prix implicites du carbone sur les émissions que représente le barème des taxes sur les billets de la loi sur le CO<sub>2</sub> est encore plus fort si l'on considère que les émissions de CO<sub>2</sub> des vols à destination de l'Espace économique européen sont incluses dans le système d'échange de quotas d'émission, c'est-à-dire que les compagnies aériennes sont confrontées à un prix marginal pour ces émissions qui a atteint 50 EUR par tonne de CO<sub>2</sub> en mai 2021. Les vols long-courriers sont exemptés. Cela signifie qu'un tiers de l'impact climatique d'un vol court-courrier est déjà pris en compte. La taxe de 30 CHF pour les vols court-courriers en classe économique implique donc un prix total de 138 CHF par tonne de CO<sub>2</sub> pour le vol à destination de l'Europe moyen, et les 60 CHF pour les vols court-courriers en classe affaires équivalent à 184 CHF par tonne de CO<sub>2</sub>.<sup>3</sup>

Nous simulons également les implications de tarifs alternatifs. Nous constatons qu'en abaissant le taux pour les vols court-courriers et en l'augmentant pour les vols long-courriers, notamment dans la classe premium, il serait possible d'obtenir une plus grande réduction de l'impact climatique de l'aviation (ce qui est, après tout, le but d'une telle taxe) avec une moindre réduction du nombre de passagers. Les recettes de la taxe sur les billets d'avion seraient pratiquement les mêmes pour les deux plans : environ 1 milliard de CHF par an, dont près de 350 millions de CHF seraient reversés à la population. Cela correspond à un remboursement d'environ 40 CHF par personne.

---

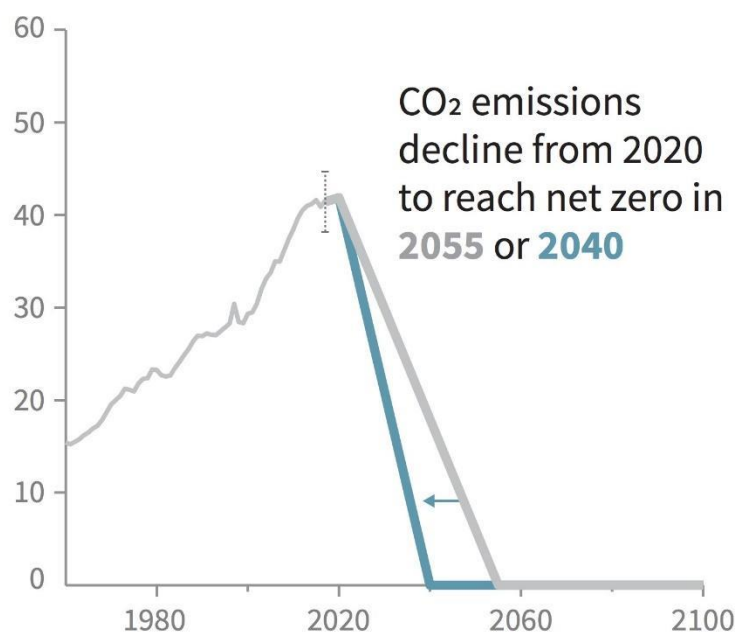
<sup>3</sup> Le fait que le SEQE ne prenne en compte que les émissions directes de CO<sub>2</sub> et non l'impact climatique total des émissions des avions justifie une taxe sur les billets d'avion en plus de l'inclusion dans le SEQE. Il en va de même pour CORSIA.

En plus de simuler les effets d'une série de barèmes de taxes sur les billets d'avion, nous évaluons les avantages et les inconvénients de cet instrument et examinons d'autres instruments de politique climatique tels que les taxes sur les carburants, l'échange de droits d'émission de carbone entre particuliers, les quotas de kérosène synthétique, un changement des normes sociales par le biais de politiques d'incitation, ainsi que la promotion des voyages en train de nuit et à grande vitesse.

L'objectif de ce livre blanc est uniquement d'évaluer la taxe sur les billets d'avion introduite dans la nouvelle loi sur le CO<sub>2</sub> en tant qu'instrument de la politique climatique suisse. Il n'y a pas de jugement sur l'importance du transport aérien en général. Il n'y a pas non plus d'évaluation de l'impact sur les compagnies aériennes, les aéroports, l'emploi, le commerce international, etc., de la taxe sur les billets d'avion proposée ou des autres mesures possibles discutées dans ce document pour conduire l'aviation vers la décarbonisation.

# 1 Introduction

Les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique s'accumulent dans l'atmosphère et entraînent un réchauffement du climat de la planète. Afin d'atténuer les effets néfastes du réchauffement climatique, 196 pays ont signé l'Accord de Paris en décembre 2015, un traité international qui vise à limiter l'augmentation de la température moyenne de la planète bien en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels, en s'efforçant de restreindre l'augmentation à 1,5°C. Pour atteindre ce dernier objectif, les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> devraient diminuer d'environ 45% jusqu'en 2030 par rapport à 2010, pour atteindre le « zéro émission nette » vers 2050 (Figure 1, GIEC, 2018). 65 pays, dont la Suisse et les États membres de l'Union européenne, se sont engagés à réduire leurs émissions de CO<sub>2</sub> à zéro émission nette d'ici à 2050 (Nations unies, 2019).



*Figure 1: Trajectoires stylisées des émissions mondiales nettes de CO<sub>2</sub> (GtCO<sub>2</sub>/an). Émissions mondiales de CO<sub>2</sub> nécessaires pour atteindre zéro émission nette au milieu du siècle (GIEC, 2018).*

En Suisse, l'aviation est le seul secteur dont les émissions de CO<sub>2</sub> ont continué à augmenter au cours de la dernière décennie. Les émissions implicites de CO<sub>2</sub> liées à la vente de kérosène dans les aéroports suisses étaient 75% plus élevées en 2019 qu'en 1990, et elles ont augmenté de 3,2% par an au cours de la période la plus récente 2010-2019 (données de l'OFEV, 2021).

La conséquence de ces chiffres est claire : la croissance des émissions de l'aviation doit être considérablement freinée si la Suisse veut atteindre les objectifs climatiques qu'elle s'est fixés. Il y a deux façons d'atteindre cet objectif : soit les vols deviennent plus propres, soit les gens prennent moins l'avion.

Compte tenu des avantages économiques, sociaux et personnels incontestables que procure le transport aérien, la meilleure solution serait de rendre les vols plus propres. Des progrès ont été réalisés : l'amélioration de la technologie des avions a permis de réaliser des gains considérables en matière de rendement énergétique, et les stratégies de tarification dynamique ont permis d'augmenter les coefficients de remplissage. Dans les années à venir, les biocarburants et le kérosène synthétique pourraient contribuer à alimenter les avions de manière neutre en carbone.

Ces développements technologiques sont les bienvenus et méritent d'être encouragés. Cependant, il semble très probable que les changements technologiques ne suffiront pas à inverser ni même à ralentir de manière significative l'impact croissant de l'aviation sur le réchauffement climatique.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Selon un scénario optimiste, le kérosène synthétique pourrait représenter 5 % de la consommation de carburant « peu après 2030 » (Patt, 2019).



Deux chiffres sous-tendent cette évaluation : si les émissions du transport aérien suisse ont affiché une hausse moyenne de 3,2% par an entre 2010 et 2019, le nombre de passagers a lui augmenté de 4,6% (OFS, 2020a). Les gains d'efficacité environnementale n'ont donc réussi à compenser qu'un tiers environ de la croissance du nombre de passagers. La probabilité que ces gains puissent inverser la croissance de l'impact de l'aviation sur le réchauffement climatique dans un avenir proche semble donc quasi inexistante. Les améliorations technologiques sont tout simplement neutralisées par l'augmentation du nombre de passagers.

Afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre de l'aviation, le Parlement suisse a introduit dans la nouvelle loi sur le CO<sub>2</sub> une taxe sur les billets d'avion de l'ordre de 30 à 120 CHF, qui pourrait entrer en vigueur en 2022 (Parlement suisse, 2020). En outre, le 1<sup>er</sup> janvier 2020, le système suisse d'échange de quotas d'émission a été couplé au système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne (EU ETS) et couvre désormais tous les voyages aériens entre la Suisse et l'Espace économique européen.<sup>5</sup>

Nous fournissons une première estimation de l'impact d'une taxe sur les billets d'avion sur la demande de transport aérien et les émissions de gaz à effet de serre correspondantes. La taxe décidée - 30 à 120 CHF par billet d'avion - freinerait considérablement la demande. Elle pourrait réduire le trafic aérien de 21% et les émissions de gaz à effet de serre qui y sont liées de 16%. L'impact total de la Suisse sur le réchauffement climatique serait ainsi réduit d'environ 4%. Nous ne simulons pas les effets distributifs de la taxe sur les billets d'avion, mais notons que la taxe prévue par le Parlement générerait des recettes pouvant atteindre 1 milliard de CHF par an.

Étant donné que les vols long-courriers représentent environ 60% des émissions, mais seulement 20% du nombre de passagers, l'effet d'atténuation sur les émissions pourrait être renforcé par un barème d'imposition plus progressif, avec des taux supérieurs allant bien au-delà du plafond de 120 CHF, en particulier pour les sièges premium. Une telle amélioration des résultats en matière d'émissions pourrait être obtenue avec une baisse moins importante du nombre de passagers par rapport à notre interprétation du scénario de base du Parlement.

Après avoir décrit le contexte et fourni des informations générales sur l'aviation et ses impacts climatiques (ch. 2), ce livre blanc présente et examine brièvement une série d'instruments qui ont été proposés pour réduire les émissions ou qui existent dans l'Union européenne et en Suisse (ch. 3). Une discussion détaillée des mesures possibles est reléguée à la fin du document (ch. 6). En effet, ce livre blanc se concentre sur la nouvelle taxe relative aux billets d'avion. Afin de simuler ses effets possibles, nous avons besoin d'une estimation de la réactivité (ou « élasticité ») de la demande de transport aérien à la hausse des prix (ch. 4). À l'aide de ces informations, nous montrons comment les voyages en avion depuis la Suisse pourraient réagir à différents barèmes de taxes sur les billets

---

<sup>5</sup> Afin de réduire l'effort administratif, les exploitants d'aéronefs non commerciaux émettant moins de 1 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par an sont exemptés.

d'avion (ch. 5). Nous concluons en comparant la taxe sur les billets d'avion proposée à d'éventuelles mesures alternatives et complémentaires (ch. 7).

## 2 La contribution du transport aérien au réchauffement de la planète

### 2.1 Impact complet de l'aviation sur le climat

Le transport aérien est l'un des modes de transport les plus énergivores (AIE, 2019b). Cela est dû à la forte demande d'énergie nécessaire pour générer une portance aérodynamique suffisante lors du décollage d'un avion. Actuellement, le kérosène est le carburant d'aviation le plus utilisé en Suisse, avec des ventes annuelles de 1 874 428 tonnes en 2019, soit 18,2% en poids de toutes les ventes de produits pétroliers (Avenergy Suisse, 2020). Le kérosène est un hydrocarbure d'origine fossile qui est obtenu par le raffinage du pétrole brut. Il affiche une teneur en carbone de 73,3 tCO<sub>2</sub>/TJ de carburant, ce qui est légèrement supérieur à l'essence, mais toujours inférieur au diesel (Umweltbundesamt, 2016). Lors de la combustion du kérosène dans les turboréacteurs les plus utilisés, l'énergie chimique est convertie en énergie mécanique pour accélérer l'air sortant du moteur et ainsi générer une poussée. La combustion d'un litre de kérosène génère des quantités fixes de CO<sub>2</sub> et de vapeur d'eau. En outre, plusieurs sous-produits tels que les oxydes d'azote et les aérosols apparaissent en raison de la nature incomplète du processus de combustion.

Si les propriétés atmosphériques du CO<sub>2</sub> sont bien documentées, celles des autres produits de combustion le sont beaucoup moins. En effet, un certain nombre de difficultés méthodologiques se posent. Premièrement, ces produits de combustion exercent un forçage radiatif à la fois directement et indirectement par leur interaction avec d'autres constituants atmosphériques, parfois de manière opposée et avec des effets de rétroaction. Deuxièmement, contrairement au CO<sub>2</sub>, les autres émissions ne se mélangent pas bien dans l'atmosphère, ce qui signifie que leur effet de serre dépend fortement de l'altitude, de la situation géographique et des conditions météorologiques, entre autres facteurs. Troisièmement, les produits de combustion n'ont pas la même durée de vie et ne se désintègrent pas à la même vitesse ; par conséquent, l'horizon temporel considéré influencera leur effet climatique relatif.

Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) ont un potentiel de réchauffement global (PRG) indirect en réduisant les concentrations atmosphériques de méthane (CH<sub>4</sub>) et en augmentant l'ozone (O<sub>3</sub>) lorsqu'ils sont émis dans la haute atmosphère. La vapeur d'eau a un PRG considérable à haute altitude en raison de la formation de traînées de condensation linéaires et des cirrus induits. Si le niveau de compréhension

scientifique du PRG induit est élevé pour le CO<sub>2</sub> et moyen pour les NO<sub>x</sub>, il est encore faible pour les effets des aérosols, de la vapeur d'eau et des traînées de condensation linéaires. Dans l'état actuel des connaissances, les traînées de condensation et les cirrus induits sont à l'origine de l'impact climatique le plus important des émissions autres que le CO<sub>2</sub>, bien plus important que l'effet du CO<sub>2</sub> lui-même (Neu, 2021).

Pour tenir compte de ces effets non liés au CO<sub>2</sub>, on a mis au point le facteur de forçage radiatif (RFI), qui est égal au forçage radiatif total de l'aviation divisé par le forçage radiatif provenant des seules émissions de CO<sub>2</sub> (GIEC, 1999). Malgré ses imperfections, le RFI est largement utilisé par les entreprises de compensation du carbone et les décideurs politiques pour tenir compte des effets des gaz autres que le CO<sub>2</sub>. Un RFI de 2 sur les émissions totales de CO<sub>2</sub> des avions était recommandé par le passé, sur la base de l'interprétation de publications scientifiques (ESU-services, 2018). Des recherches plus récentes, fondées sur une meilleure compréhension des effets de forçage climatique des émissions d'aéronefs à haute altitude, concluent que ce RFI est à peu près correct pour l'horizon à 100 ans des rapports d'inventaire des gaz à effet de serre de la CCNUCC (Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques), mais que des RFI nettement plus élevés devraient être utilisés pour évaluer l'impact climatique des vols individuels (Lee, 2021). L'Académie suisse des sciences naturelles a récemment examiné les preuves les plus récentes pour le compte de l'Office fédéral de l'environnement (Neu, 2021). Elle recommande désormais un facteur 3 pour la compensation des vols au départ des aéroports suisses, et c'est cette valeur que nous utiliserons pour calculer les émissions d'équivalent CO<sub>2</sub> des trajets aériens.

Malgré ces considérations importantes et scientifiquement fondées, le débat public sur l'impact de l'aviation sur le climat reste principalement axé sur le dioxyde de carbone. Par exemple, l'Association internationale du transport aérien (IATA), la principale association commerciale des compagnies aériennes mondiales, ne parle que du CO<sub>2</sub> dans sa fiche d'information sur le changement climatique, ignorant tout effet de réchauffement autre que le CO<sub>2</sub> (IATA, 2021). De même, l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) reconnaît la nécessité de réduire les émissions qui contribuent au changement climatique mondial, sans toutefois mentionner d'autres gaz à effet de serre que le CO<sub>2</sub> dans leur dernière résolution sur le changement climatique (OACI, 2019c). L'IATA indique qu'en 2019, « l'aviation civile dans son ensemble a émis environ 915 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>, soit un peu plus de 2% des émissions de carbone d'origine humaine ». Avec un RFI de 3, la responsabilité de l'aviation est plus proche de 6% du réchauffement climatique d'origine humaine.

Même avec le RFI, nos estimations constituent toujours une évaluation incomplète des impacts climatiques de l'aviation. En effet, elles ne tiennent pas compte du cycle de vie complet des émissions de gaz à effet de serre du kérosène (extraction, production et transport en plus de la combustion), sans parler du secteur de l'aviation dans son ensemble (construction et maintenance des avions et des infrastructures par exemple). De plus, étant donné l'objectif de ce livre blanc, nous ne

considérons que les effets climatiques des émissions et ne discutons pas des conséquences néfastes sur la santé et l'environnement des émissions polluantes générées par les vols.

## 2.2 Impact climatique du transport aérien suisse

En 2019, les émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation intérieure et internationale se sont élevées à 5,81 millions de tonnes. En outre, des quantités importantes d'autres polluants tels que 28 368 tonnes de NO<sub>x</sub>, 6 449 tonnes de monoxyde de carbone (CO), 810 tonnes d'hydrocarbures (HC), 32 tonnes de black carbon (BC) et 44 tonnes de particules (PM) ont été émises (OFS, 2020b). L'estimation de la quantité de polluants se base sur la quantité de carburant effectivement remplie en Suisse et ne tient pas compte des vols de correspondance à l'étranger. Avec cette méthode d'estimation, les émissions de tous les vols au départ des aéroports suisses sont incluses. Certaines compagnies aériennes, en particulier pour les vols court-courriers, peuvent ne pas ravitailler leurs avions en Suisse pour éviter les différences de taxes sur le carburant et transporter plus de carburant que nécessaire depuis leur aéroport d'origine. La pertinence statistique de cette pratique appelée « *ravitaillement en carburant* » n'est cependant pas claire. Comme les vols internationaux sont exonérés de taxes sur le carburant en Suisse, elle est probablement limitée.

Les émissions totales de CO<sub>2</sub> de l'aviation ont augmenté de 86% entre les premières données d'émissions de 1990 et 2019, avec un taux de croissance annuel moyen de 2,3% (données de l'OFEV, 2021). La croissance des émissions a été particulièrement forte ces dernières années jusqu'en 2020, avec 3,2% en moyenne pour 2010-2019. Historiquement, les émissions de CO<sub>2</sub> n'ont diminué qu'après les attentats terroristes de New York en 2001, après la crise financière de 2007-2008 et pendant la pandémie actuelle de COVID-19.

Les émissions de l'aviation intérieure suisse ont représenté 0,11 million de tonnes de CO<sub>2</sub> en 2019, ce qui représente les dernières données disponibles. Cette quantité est négligeable par rapport aux 5,69 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> qui résultent de l'aviation internationale (Figure 2).

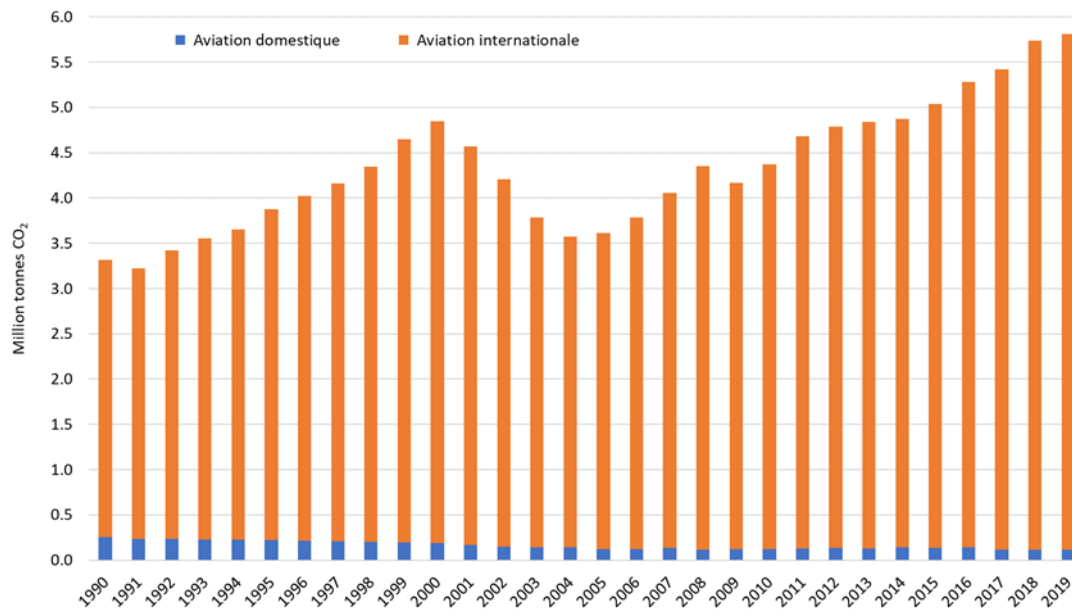


Figure 2: Évolution historique des émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation en Suisse. Propre figure avec données de l'OFEV (2021), sans correction pour l'impact climatique complet.

Lorsque l'on évalue l'impact sur le réchauffement climatique des différents secteurs économiques en Suisse, celui de tous les secteurs, à l'exception de l'aviation, est le mieux mesuré par leurs émissions de gaz à effet de serre. Pour l'aviation, ses émissions de CO<sub>2</sub> doivent maintenant être multipliées par le RFI de 3. Par conséquent, nous multiplions par trois les émissions de CO<sub>2</sub> communément mesurées, implicites dans les ventes de kérosène dans les aéroports suisses, et nous les ajoutons à l'inventaire suisse des émissions de gaz à effet de serre.<sup>6</sup> Il en résulte que l'aviation devient le plus important contributeur à l'impact climatique de la Suisse, avec 27,4% du total (Figure 3). En 1990, elle n'était que le quatrième contributeur avec 15,6%, derrière les transports terrestres, l'industrie et les bâtiments résidentiels.

<sup>6</sup> Dans le cadre de la CCNUCC, l'aviation internationale n'est pas incluse dans les totaux nationaux, seule l'aviation intérieure l'est. Plus précisément, nous multiplions par trois les émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation intérieure et ajoutons trois fois les émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation internationale telles que rapportées dans l'inventaire suisse des gaz à effet de serre.

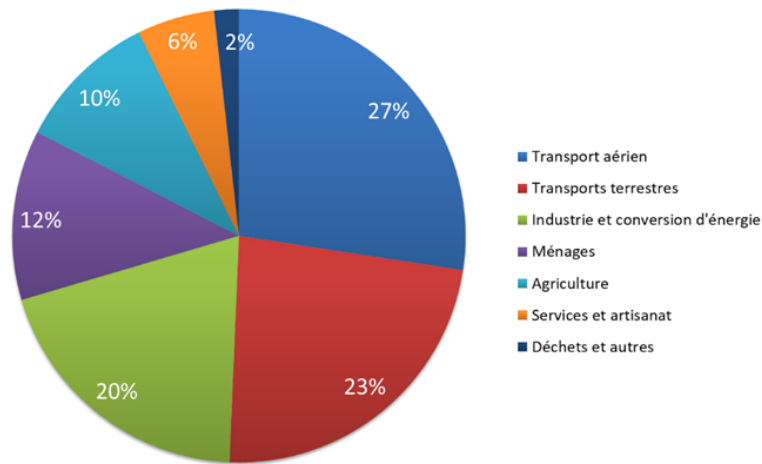


Figure 3: Impact total sur le réchauffement climatique des principaux secteurs sources en Suisse en 2019, y compris l'aviation internationale (RFI=3). Propre figure avec données de l'OFEV (2021)

## 2.3 Caractéristiques des voyages aériens au départ de la Suisse

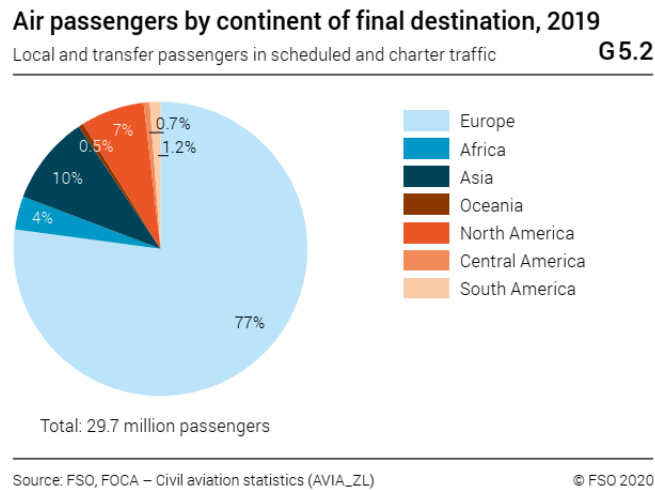


Figure 4: Destination réelle par continent des passagers aériens en Suisse en 2019 (OFS, 2020c)

En 2019, 77% des passagers suisses se sont rendus dans des pays européens, tandis que 10% sont allés en Asie et 7% en Amérique du Nord. L'Afrique, l'Océanie, l'Amérique centrale et l'Amérique du Sud ont représenté au total 6% de tous les passagers aériens (Figure 4). Par conséquent, environ 77% de tous les passagers voyagent sur des vols court ou moyen-courriers, tandis que 23% voyagent sur des lignes long-courriers.

En termes de distance de vol, 20% des passagers-kilomètres (pkm) résultent de vols inférieurs à 1 000 km et 60% sont inférieurs à 7 000 km (Figure 5). En revanche, le transport aérien de marchandises est principalement utilisé pour les longues distances de plus de 5 000 km. En Suisse, le transport de fret représente environ 20% du total des équivalents pkm.

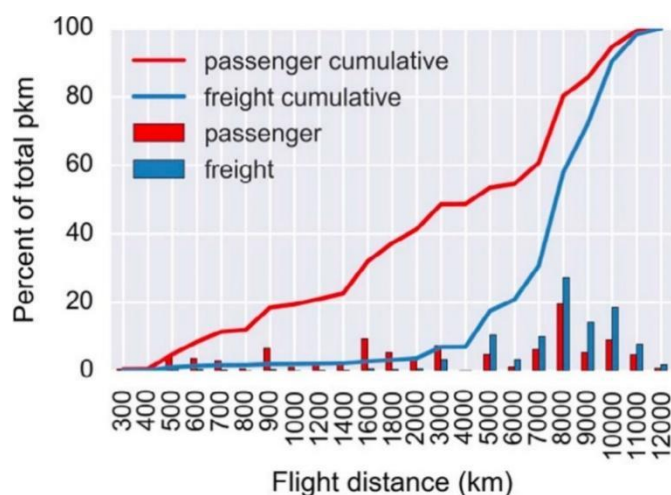


Figure 5: Part des pkm de chaque distance de vol pour le transport de passagers et de marchandises (Cox et al., 2018).

Par rapport aux autres pays européens, la Suisse est une nation de grands voyageurs. Si le nombre moyen de vols par habitant était de 3,3 dans l'Union européenne en 2017, il était de 6,3 en Suisse (Figure 6). En Europe, seule la Norvège a un nombre de vols par habitant plus élevé, ce qui s'explique toutefois par sa géographie particulière et donc le nombre élevé de vols intérieurs. Parmi les pays voisins, l'Autriche avait un nombre moyen de vols par habitant de 3,3, l'Allemagne de 2,9, l'Italie de 2,9 et la France de 2,7. Ces valeurs n'indiquent toutefois pas directement la « volonté de voyager » de la population résidente suisse, car les chiffres incluent le trafic de transfert (l'aéroport de Zurich est une importante plaque tournante) et le trafic entrant (voyages d'affaires et de vacances de l'étranger vers la Suisse) (Intraplan Consult, 2015).

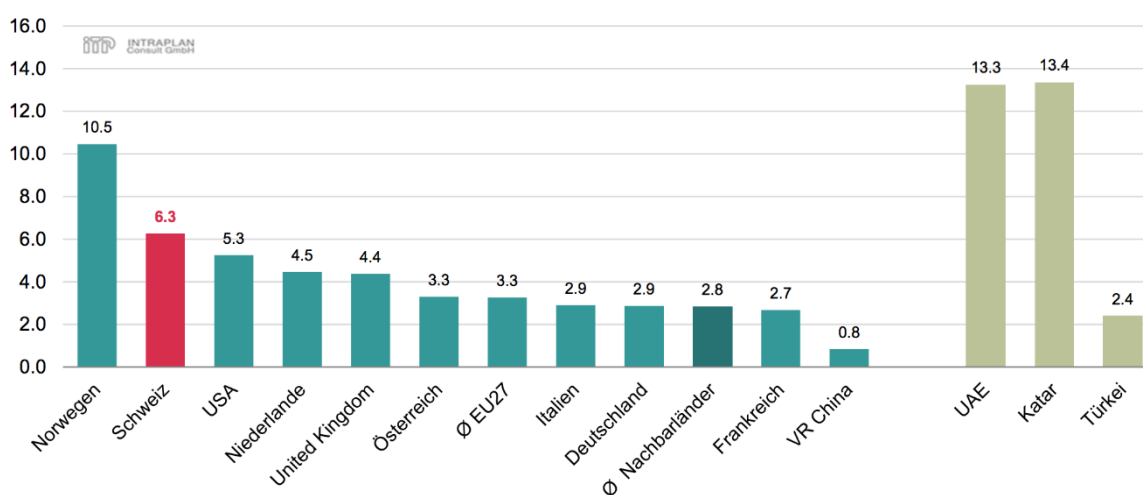


Figure 6: Passagers aériens par habitant en 2017 pour des pays donnés, y compris les passagers en transfert (Intraplan Consult, 2018).

Le niveau de la demande de transport aérien de passagers est lié au revenu et à l'activité économique. Le transport aérien est considéré comme un produit de luxe dont l'élasticité par rapport au revenu est supérieure à 1. Une analyse effectuée à partir de données américaines a révélé des élasticités par

rapport au revenu au niveau de l'itinéraire généralement de l'ordre de +1,8 pour les vols court-courriers, qui augmentent jusqu'à +2,2 pour les vols ultra-long-courriers (InterVISTAS, 2007). La dépendance des voyages aériens à l'égard des revenus est clairement visible en Suisse. En moyenne, les citoyens suisses vivant dans un ménage dont le revenu est inférieur à 4 000 CHF par mois ne prennent que 0,3 vol par an. En revanche, les Suisses vivant dans un ménage à haut revenu (plus de 12 000 CHF par mois) prennent 1,7 vol par an, soit 5,67 fois la fréquence de voyage de la classe de revenu la plus basse (Figure 7).<sup>7</sup>

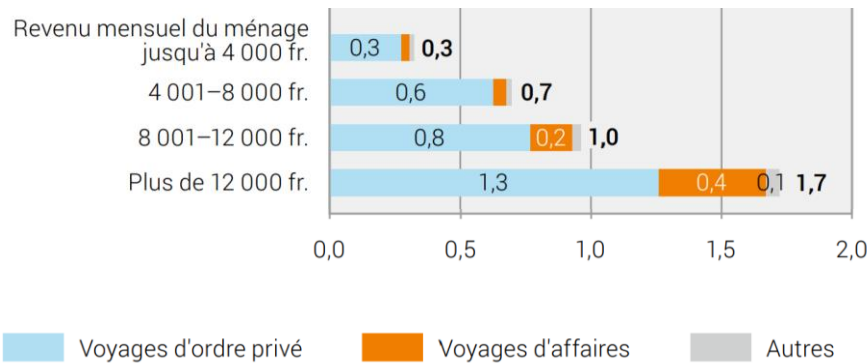


Figure 7: Nombre de voyages en avion par personne et par année selon le revenu et le motif, en 2015 (OFS et ARE, 2017).

Selon les données de l'enquête sur les passagers de 2019 pour l'aéroport de Zurich, 63% des passagers ont indiqué que les loisirs étaient leur principal motif de voyage en avion et 11% un autre motif privé. Le travail était le principal motif de voyage pour 26% seulement des passagers (Aéroport de Zurich, 2020).

## 2.4 Projections de la demande

La demande suisse de transport aérien (passagers et fret) a augmenté à un taux moyen de 2,4-3,4% par an depuis les années 1950. La majorité de cette croissance de la demande a concerné le transport de passagers (3,4-4,2%), tandis que la croissance du fret a été plus lente (0-1,8%) (Cox et al., 2018). Une prévision de la demande réalisée pour l'Office fédéral de l'aviation civile en 2015 prévoyait une croissance annuelle de 3,2% des passagers aériens et de 2,1% du nombre de vols pour la période 2013-2030 (Figure 8). De même, l'Agence européenne pour l'environnement avait prévu une croissance annuelle de 1,5% du nombre de vols pour les pays de l'UE28+EFTA avant la pandémie de COVID-19 (Agence européenne pour l'environnement, 2019). Bien sûr, ces projections sont revues à la baisse, mais on ne sait pas si la demande de transport aérien retrouvera la tendance d'avant la COVID dans un certain nombre d'années ou si elle restera réduite.

<sup>7</sup> Les « vols restants » sont des vols pour lesquels aucun motif n'a été donné.



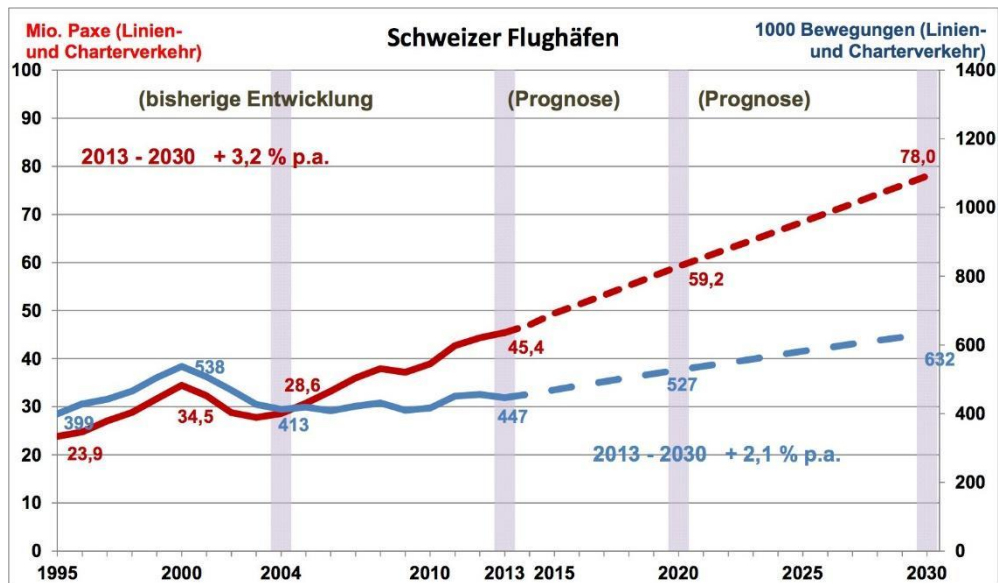


Figure 8: Projections de la demande de passagers aériens (rouge) et du nombre de vols (bleu) pour la Suisse jusqu'en 2030 (Intraplan Consult, 2015)

## 2.5 Projections de l'efficacité du carburant

Pour prévoir avec précision les émissions futures, il faut tenir compte des améliorations du rendement énergétique en plus de la croissance prévue de la demande. Alors que l'efficacité énergétique de l'aviation internationale s'est améliorée de 3,6% en moyenne par an entre 2002 et 2010 dans le monde entier (Figure 9), elle a ralenti pour atteindre seulement 1,6% par an entre 2010 et 2019 (données de l'AIE, 2020a).

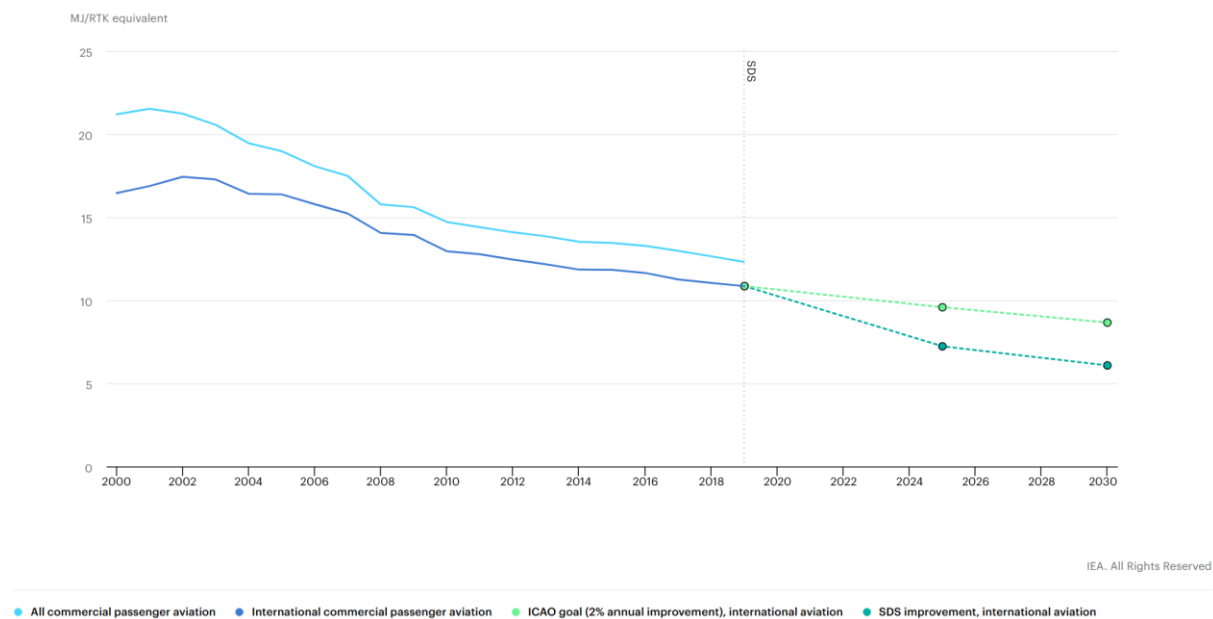


Figure 9: Intensité énergétique de l'aviation de passagers dans le scénario de développement durable 2000-2030 (AIE, 2020a)

Dans le scénario de développement durable (SDS) de l'AIE, l'intensité énergétique de l'aviation devrait s'améliorer de 2,7% par an jusqu'en 2030 par rapport au niveau de 2019. En 2010, l'OACI a adopté une résolution visant à améliorer l'efficacité de 2% par an entre 2013 et 2050 (OACI, 2010).

Des différences considérables en matière d'efficacité énergétique existent entre les compagnies aériennes. Les compagnies aériennes à bas prix telles qu'EasyJet et Ryanair sont les compagnies aériennes les plus économes en carburant opérant en Suisse (Figure 10), suivies de près par Swiss (Intraplan Consult, 2018). Les compagnies aériennes à haute efficacité énergétique ont tendance à avoir des coefficients de remplissage élevés (peu de sièges restent vides) ainsi que les flottes les plus modernes (les avions les plus récents sont plus efficaces). Il semble y avoir pour les compagnies aériennes à la traîne un potentiel évident d'amélioration de leur efficacité énergétique.

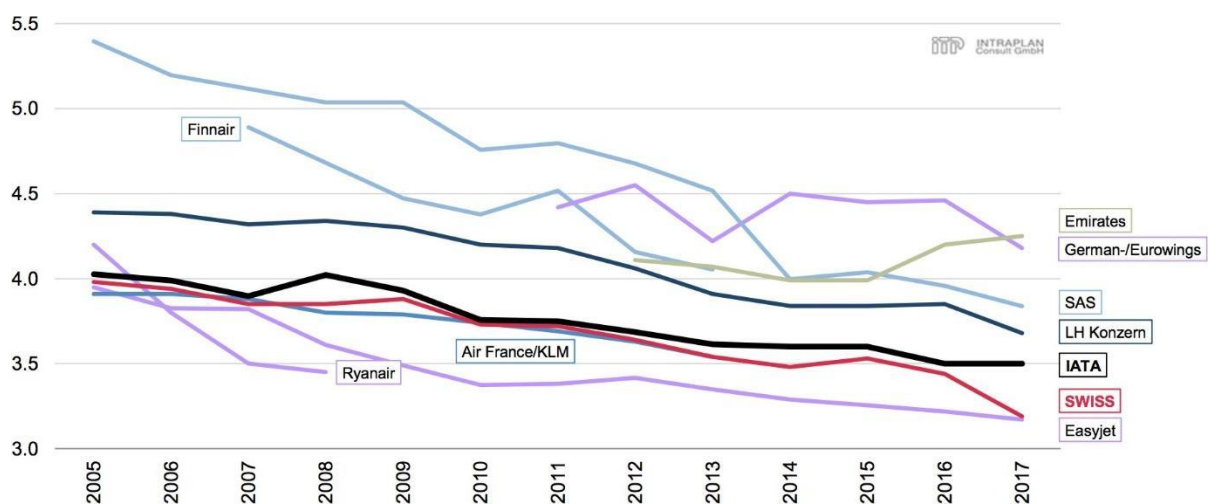


Figure 10: Consommation de carburant en litres par 100 pkm en comparaison avec des compagnies aériennes données (Intraplan Consult, 2018).

## 2.6 Projections des émissions

Un groupe de recherche de l'Institut Paul Scherrer (Cox et al., 2018) a réalisé une évaluation complète du cycle de vie de la flotte d'avions de ligne suisses (y compris la construction d'avions), et de son développement potentiel de 1990 à 2050. Pour prévoir les émissions jusqu'en 2050, ils ont établi des scénarios d'amélioration technologique de type business-as-usual (BAU, maintien du statu quo) et optimiste (OPT) qui ont été analysés dans le cadre d'une croissance annuelle faible (3%) et élevée (4,5%) du nombre de passagers aériens. Le scénario optimiste avec une faible croissance annuelle de 3% de la demande de passagers aériens est basé sur les hypothèses technologiques suivantes : (1) une amélioration annuelle de 1,5% de la consommation de carburant des aéronefs, (2) des changements importants dans la conception des aéronefs qui conduisent à une amélioration aérodynamique de 1,5% par an et (3) une réduction annuelle de 0,80% du poids opérationnel.

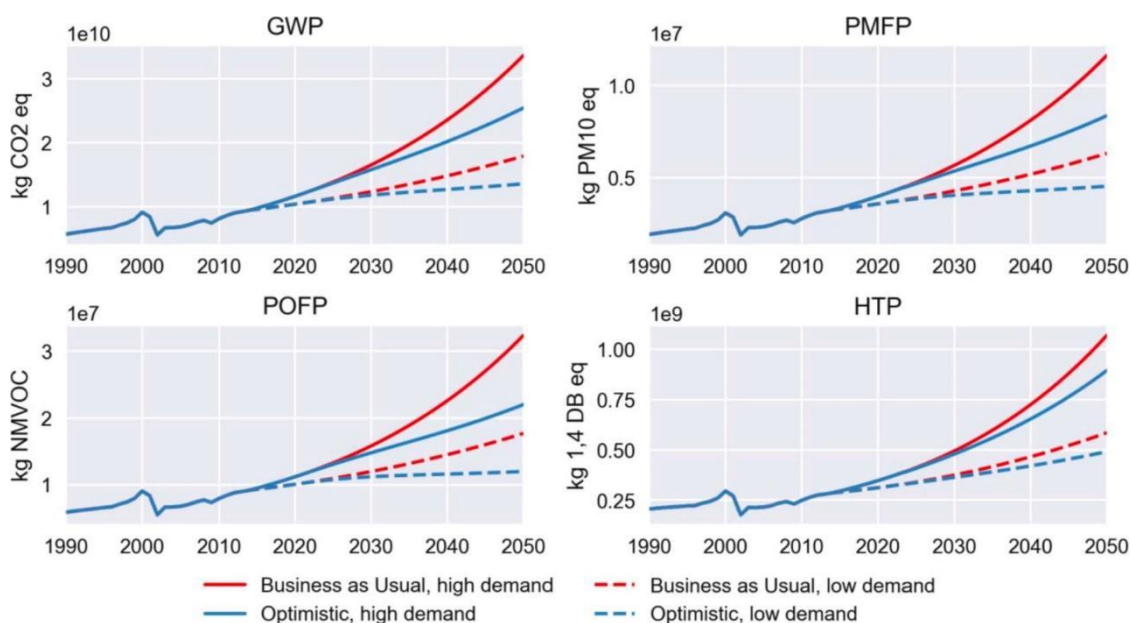


Figure 11: Prévisions du potentiel d'impact environnemental de l'ensemble du secteur du transport aérien commercial suisse jusqu'en 2050 (Cox et al., 2018).

Dans le scénario optimiste, le potentiel de réchauffement global (PRG) de l'aviation suisse augmenterait de 46% jusqu'en 2050 (Figure 11). Dans un scénario de maintien du statu quo avec une forte croissance de la demande, le PRG pourrait même augmenter de 243% d'ici 2050. Aucun scénario aboutissant à une croissance nulle ou à une diminution des émissions de gaz à effet de serre n'a été trouvé. Les auteurs ont toutefois exclu du champ de leur analyse les changements futurs dans la production de carburants (biocarburants, carburants synthétiques), les futures technologies de moteurs, comme les avions propulsés à l'hydrogène liquéfié, ainsi que les mesures politiques (réduction de la demande par la taxation).

## 2.7 Décomposition des émissions du transport aérien

La croissance des émissions de CO<sub>2</sub> dues au transport aérien est directement liée à l'augmentation de la consommation de kérosène, qui résulte elle-même du fait que davantage d'avions transportent plus de passagers sur de plus longues distances. L'augmentation du nombre de passagers s'explique par une population croissante, une proportion plus importante de cette population qui voyage en avion et des passagers qui prennent l'avion plus souvent. La consommation de kérosène dépend également du rendement énergétique et du taux de remplissage des avions.

La décomposition suivante montre comment tous ces facteurs peuvent être mis en relation pour rendre compte des émissions globales de CO<sub>2</sub> du transport aérien :

$$\text{Emission CO}_2 = \text{population} \times \frac{\text{passagers}}{\text{population}} \times \frac{\text{pkm}}{\text{passagers}} \times \frac{\text{sièges} \times \text{km parcourus}}{\text{pkm}} \times \frac{\text{énergie consommée}}{\text{sièges} \times \text{km parcourus}} \times \frac{\text{émissions CO}_2}{\text{énergie consommée}}$$

Le premier ratio est la proportion de la population qui prend l'avion ; le deuxième ratio est la distance moyenne parcourue par ces passagers; le troisième ratio est l'inverse du coefficient de remplissage;

le quatrième ratio est l'inverse du rendement énergétique des avions; le dernier ratio est la teneur en carbone des carburants d'aviation.

Cette décomposition définit les **leviers** suivants pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> du transport aérien :

1. Moins de voyageurs
2. Moins de km par voyageur (vols moins nombreux et/ou plus courts)
3. Coefficients de remplissage plus élevés
4. Meilleur rendement énergétique
5. Les vecteurs énergétiques à faible intensité de carbone (par exemple, les biocarburants, les carburants synthétiques issus de l'électricité renouvelable, l'électricité renouvelable)

Les deux premiers leviers sont liés à la demande de voyages, le troisième à la gestion des capacités par les compagnies aériennes et les deux derniers à la technologie. Ces leviers évoluent en fonction des conditions socio-économiques telles que la démographie, les revenus, les préférences en matière de voyage, les prix des carburants, l'intensité de la concurrence et la disponibilité d'alternatives. Ils peuvent être actionnés par des mesures politiques du type de celles examinées aux chapitres 3 et 6.

Sous une forme simplifiée pour laquelle des données sont disponibles chaque année en Suisse :

$$\text{Émissions CO}_2 = \text{population} \times \frac{\text{passagers}}{\text{population}} \times \frac{\text{émissions CO}_2}{\text{passagers}}$$

Entre 2004 et 2019, les émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation ont augmenté de 3,3% par an en moyenne en Suisse. Soit la somme des 1% de croissance démographique et des 4% de vols supplémentaires par habitant, compensée en partie par une réduction de 1,6% des émissions de CO<sub>2</sub> par passager.

Voici une décomposition encore plus simplifiée :

$$\text{Émissions CO}_2 = (\text{passagers} \times \text{kilomètres}) \times \frac{\text{émissions CO}_2}{\text{pkm}}$$

Cette décomposition sépare clairement les leviers dépendant de l'offre et de la demande (termes apparaissant entre parenthèses) des leviers technologiques représentés par le ratio.

# 3 Comment limiter l'impact de l'aviation - premiers principes et politiques existantes

## 3.1 Premiers principes

Si l'on part du principe que l'objectif politique est de réduire le volume des voyages aériens, comment cet objectif peut-il être atteint le plus efficacement possible ? Parmi les différents outils réglementaires disponibles, les instruments fondés sur le marché sont généralement privilégiés, car ils sont économiquement efficaces : la réduction de la pollution est obtenue au moindre coût pour la société dans son ensemble. En général, les décideurs ont le choix entre deux instruments fondés sur le marché : ils peuvent soit réguler le volume des voyages aériens par des systèmes de plafonnement et d'échange (c'est-à-dire en fixant des quotas), soit influencer sur le prix des voyages aériens par des taxes. Le premier, communément appelé l'outil de la quantité, fixe une limite aux émissions et laisse le marché déterminer le prix correspondant. Le second, communément appelé outil du prix, fixe un prix pour les émissions et laisse le marché déterminer la quantité correspondante d'émissions.

Aucun des deux mécanismes ne domine clairement l'autre. De manière générale, lorsque les écarts par rapport au niveau optimal d'émissions sont plus dommageables en termes environnementaux qu'en termes purement économiques, les quotas sont à privilégier ; dans le cas contraire, les taxes sont mieux adaptées.<sup>8</sup> En dehors du monde des modèles économiques, cette distinction théorique est difficile à quantifier et à rendre opérationnelle. Par conséquent, les choix réels d'instruments politiques dépendent largement des aspects pratiques de la mise en œuvre et de leur acceptation politique.

Les quotas individuels de vol représenteraient la mesure la plus directe pour réduire la demande de transport aérien. Chaque résident suisse recevrait le droit d'émettre une quantité donnée de CO<sub>2</sub> ou de parcourir un certain nombre de kilomètres par an. Pour tenir compte des différences de préférences et de besoins de voyage, ces quotas seraient négociables. Le montant total des quotas pourrait être progressivement réduit au fil du temps, ce qui permettrait un contrôle précis du volume des voyages aériens, indépendamment des variations du prix du carburant et d'autres facteurs cycliques. Le principal inconvénient d'une telle mesure réside dans sa mise en œuvre : le suivi des voyages aériens individuels serait administrativement coûteux, intrusif et effectivement applicable uniquement aux résidents suisses à long terme.<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> Voir Weitzman (1974) et Baumol et Oates (1988).

<sup>9</sup> Une solution administrativement moins onéreuse consisterait à contingenter les capacités de transport offertes (vols et sièges) au départ des aéroports suisses, en affinant les créneaux d'atterrissage ou de décollage existants.

Les taxes apparaissent donc comme l'outil politique le plus réaliste du côté de la demande, surtout dans une petite économie ouverte comme la Suisse. Les taxes environnementales constituent un cas d'école pour une intervention gouvernementale potentiellement souhaitable dans l'économie de marché. Le réchauffement climatique génère clairement des coûts importants et en augmentation rapide, mais dans une économie de marché libre, personne n'est invité à payer pour atténuer ces coûts. Cette « défaillance du marché » s'explique par le fait que le climat de la Terre n'est pas la propriété d'un individu ou d'un groupe d'individus particulier et qu'aucun individu ou groupe privé ne peut donc réclamer une compensation à ceux qui causent des dommages au climat. Les pouvoirs publics doivent alors intervenir et veiller à ce que, comme le dit l'adage, « le pollueur paie ».

C'est ce qui motive la proposition d'une taxe suisse sur les billets d'avion. Le Parlement fédéral a décidé l'introduction d'une telle taxe allant de 30 à 120 CHF par passager aérien au départ d'un aéroport suisse, à l'exception des passagers en transit ou en transfert. Des taux différenciés sont envisagés en fonction de la durée des vols (court-courrier vs long-courrier) et en fonction du type de billet (économique vs premium). Une minorité de parlementaires avait suggéré d'appliquer la fourchette de 30 à 120 CHF uniquement aux billets de la classe économique, et de permettre des taux d'imposition plus élevés pour les billets de la classe premium (classe affaires et première classe). Les taux d'imposition proposés sont plus élevés que ceux en vigueur dans la plupart des autres pays européens.<sup>10</sup> L'exception est le Royaume-Uni, dont la taxe sur les passagers aériens peut aller jusqu'à 180 GBP en 2021 (pour les vols long-courriers en classe premium).

### 3.2 Politiques existantes de l'OACI

À l'échelle mondiale, l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a lancé son système de compensation et de réduction du carbone pour l'aviation internationale (CORSIA) en octobre 2016. Les États membres se sont mis d'accord sur l'objectif d'une croissance neutre en CO<sub>2</sub> de l'aviation internationale à partir de 2021 (OACI, 2019a). À l'origine, les émissions de référence devaient correspondre aux émissions moyennes entre 2019 et 2020. Toutefois, en raison de l'impact de la pandémie de Covid-19 sur la réduction considérable des voyages aériens en 2020, l'OACI a décidé en juin 2020 de choisir 2019 comme année de référence pour les émissions.

Étant donné que l'on s'attend généralement à ce que la croissance du trafic aérien dépasse l'augmentation du rendement énergétique des compagnies aériennes plus efficaces, la croissance neutre en carbone telle qu'avancée par l'OACI est obtenue en réduisant les émissions dans d'autres secteurs économiques. Ces certificats de réduction des émissions (crédits carbone) peuvent alors être achetés par les compagnies aériennes dont les émissions augmentent après 2020 (Figure 12).

---

<sup>10</sup> Des taxes similaires ont été mises en place en Autriche, en Croatie, en Finlande, en France, en Allemagne, en Grèce, en Italie, en Norvège, en Pologne, en Roumanie, en Slovaquie, en Espagne, en Suède et au Royaume-Uni. Les taux de taxation moyens par billet vont de 0,60 EUR (Slovaquie) à 40 EUR (Royaume-Uni). Voir Commission européenne (2019).

Alternativement, les compagnies aériennes achètent des carburants à faible teneur en carbone « éligibles à CORSIA », ce qui fait toutefois l'objet d'un débat entre les États membres (Carbon Brief, 2019). À ce stade, les types de certificats de réduction qui seront acceptés par l'OACI ne sont pas clairement définis.

CORSIA est mis en œuvre lors d'une première phase pilote de 2021 à 2022, puis lors d'une deuxième phase volontaire de 2023 à 2026, avant une troisième phase obligatoire qui se déroulera de 2027 à fin 2035.

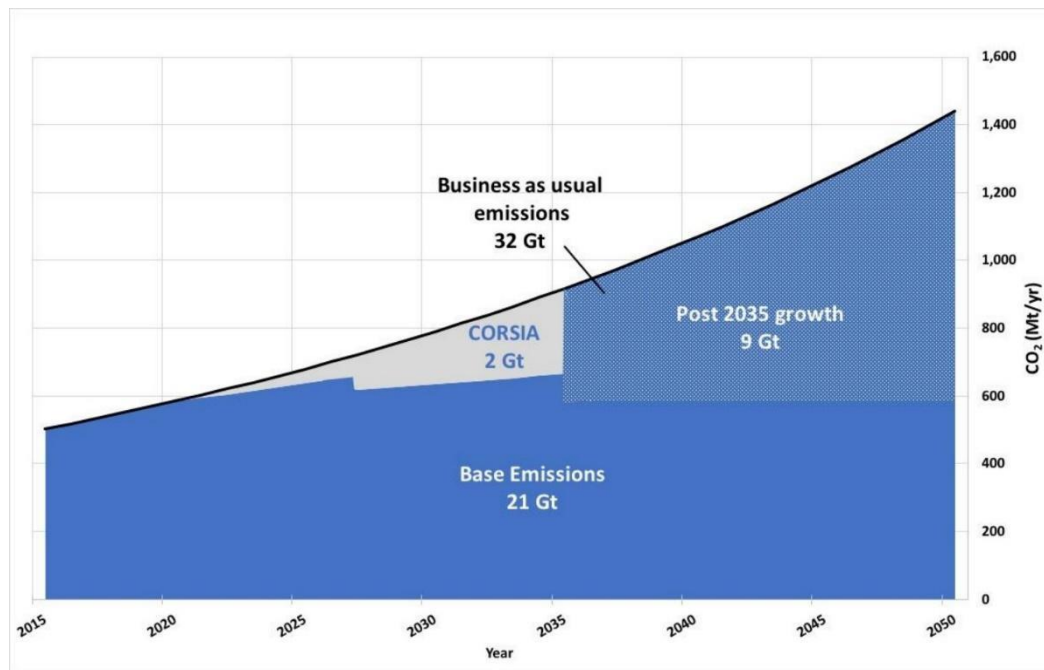


Figure 12: Émissions annuelles et cumulées de CO<sub>2</sub> de l'aviation internationale, 2015 à 2050. Seule une petite partie des émissions est couverte par CORSIA (ICSA, 2018).

Le plan CORSIA a été critiqué par les ONG environnementales à plusieurs égards (Carbon Brief, 2019). Tout d'abord, l'objectif de réduction des émissions de « croissance neutre en carbone à partir de 2020 » n'a jamais été validé scientifiquement. Par exemple, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a souligné que les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> devaient atteindre un niveau net nul d'ici 2050 environ si l'on voulait limiter le réchauffement climatique à 1,5 degré Celsius. Alors que l'Organisation maritime internationale (OMI) a fixé un objectif sectoriel visant à réduire les émissions du transport maritime international de 50% jusqu'en 2050 (par rapport aux niveaux de 2008), l'OACI quant à elle ne vise pour le moment qu'à compenser la croissance supplémentaire des émissions du transport aérien international (OMI, 2018). Deuxièmement, plusieurs gros émetteurs au niveau mondial, tels que la Chine, le Brésil et l'Inde, ont décidé de ne pas participer à la phase pilote qui a débuté en 2021. Ces États membres pourraient ne pas rejoindre CORSIA avant la phase obligatoire qui débutera en 2027. Troisièmement, la qualité des certificats de compensation suscite des inquiétudes. Les projets relevant du mécanisme de

développement propre (MDP) des Nations unies sont privilégiés par des États membres tels que le Brésil (qui dispose d'un grand nombre de certificats MDP inutilisés), tandis que d'autres États membres, comme la Chine, s'opposent à ce que des organes des Nations unies, tels que l'OACI, décident de l'éligibilité des projets.

Un rapport interne commandé par la Commission européenne en septembre 2020 conclut que « CORSIA n'est pas susceptible de modifier de manière significative l'impact climatique direct associé au transport aérien, car le signal de prix auquel les compagnies aériennes seront confrontées dans le cadre du système ne devrait pas, à lui seul, fournir des incitations financières suffisantes pour qu'elles réduisent sensiblement leurs émissions » (ICF Consulting et al., 2020). Le rapport a également noté que dans le cadre de CORSIA, les compagnies aériennes étaient susceptibles d'acheter des crédits carbone plutôt que des carburants plus propres. En outre, les auteurs du rapport ont souligné que CORSIA ne disposait pas d'un système solide pour faire respecter la participation ou la conformité à ses règles.

### 3.3 Politiques existantes de l'Union européenne

Actuellement, le système communautaire d'échange de quotas d'émission (SCEQE) ne s'applique qu'aux vols entre aéroports situés dans l'Espace économique européen (EEE), laissant les vols intercontinentaux exemptés du SCEQE. En outre, pour la phase la plus récente du SCEQE (2013-20), 82% des quotas au sein de l'EEE ont été accordés gratuitement aux exploitants d'aéronefs, tandis que 15% seulement ont été mis aux enchères (Commission européenne, 2019). Le prix moyen des quotas mis aux enchères est passé de 5,8 EUR par tonne en 2017, à 25,33 EUR par tonne en 2019 (Sandbag, 2021). Il est en forte hausse depuis novembre 2020, dépassant les 50 EUR en mai 2021.

Dans le cadre du Green Deal européen proposé en décembre 2019, la Commission européenne a annoncé son intention de « réduire les quotas SCEQE alloués gratuitement aux compagnies aériennes » et « d'examiner de près les exonérations fiscales actuelles, y compris pour les carburants d'aviation ». La Commission européenne devrait se prononcer en juin 2021 sur l'avenir de l'aviation dans le SCEQE.

Le rapport interne susmentionné de la Commission européenne a présenté plusieurs options pour réformer le SCEQE. L'option la plus efficace pour réduire les émissions prévoit que le SCEQE couvre tous les vols à destination, en provenance et au sein de l'EEE. S'il est pleinement mis en œuvre, le SCEQE couvrirait 23,5% des émissions mondiales de l'aviation d'ici 2025.

### 3.4 Politiques existantes et prévues en Suisse

Jusqu'en 2019, la Suisse n'avait pas de politique climatique pour l'aviation internationale. Toutefois, les redevances aéroportuaires locales pour les émissions de NOx et de bruit ont pour effet indirect de réduire l'impact climatique de l'aviation (OFAC, 2020). Initialement, l'aviation n'était



mentionnée que dans l'actuelle loi sur le CO<sub>2</sub> (loi fédérale sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>) de 2011, avec la précision que « les émissions dues à l'utilisation de carburant d'aviation sur les vols internationaux ne sont pas prises en compte ». En 2019, l'obligation pour les compagnies aériennes de participer au système communautaire d'échange de quotas d'émission a été ajoutée. En effet, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2020, le système suisse d'échange de quotas d'émission (SEQE) est lié au SCEQE de l'UE. Par conséquent, les compagnies aériennes effectuant des vols aller et retour depuis la Suisse vers l'Espace économique européen (EEE) sont tenues de participer au SEQE couplé. Les vols en dehors de l'EEE restent exemptés. Même au prix élevé actuel d'environ 50 EUR par tonne de CO<sub>2</sub> (Sandbag, 8 mai 2021), un aller simple en classe économique de Genève à Londres, pour lequel on compte des émissions de 97,9 kg de CO<sub>2</sub> par passager (OACI, 2016), les certificats nécessaires ne coûteraient en moyenne que 0,74 EUR, puisque 85% des certificats sont accordés gratuitement.

Dans une étude d'impact réalisée pour l'Office fédéral de l'environnement, INFRAS a estimé que l'intégration au SCEQE ne réduirait que très légèrement les émissions (INFRAS, 2009). Dans la forme actuelle du SCEQE, la baisse n'est que de 0,2 à 0,3% par rapport au scénario de référence d'une croissance sans contrainte de 17,1 millions de tonnes CO<sub>2</sub>eq (y compris les effets non CO<sub>2</sub>) en 2030. Par conséquent, l'impact climatique de l'aviation suisse augmenterait encore de 48,7% jusqu'en 2030.

Les émissions de gaz à effet de serre de l'aviation internationale ne sont pas comptabilisées dans les objectifs d'atténuation pour 2020 ou 2030. Néanmoins, le Conseil fédéral a l'intention d'inclure ses émissions dans l'objectif de zéro émission nette pour 2050. Les nouvelles Perspectives énergétiques 2050+ (Prognos et al., 2020) montrent comment y parvenir : aucune mesure n'est prévue pour ralentir la croissance du nombre de passagers – il augmente de 53% entre 2019 et 2050 – mais, grâce à l'amélioration accélérée de l'efficacité énergétique, la consommation d'énergie diminue de 22% et, surtout, le kérosène est entièrement remplacé par des carburants synthétiques<sup>11</sup> entre 2045 et 2050.

Dans sa dernière révision de la loi sur le CO<sub>2</sub> du 25 septembre 2020, le Parlement suisse a introduit une taxe sur les billets d'avion de 30 CHF au minimum et de 120 CHF au maximum. Cette taxe s'appliquera aux vols au départ de la Suisse, à l'exception notable des passagers en transfert et en transit. Les enfants de moins de deux ans, les personnes chargées de la sécurité aérienne, les passagers nécessitant un transport aérien pour des raisons médicales urgentes, ainsi que les vols militaires seront également exemptés de la taxe. Le Conseil fédéral devra déterminer le montant exact de la taxe, en fonction de la classe de voyage et de la distance du vol, de manière à atteindre les objectifs climatiques suisses, tout en tenant compte du niveau des taxes dans d'autres pays. Afin de maximiser l'impact de la taxe et donc sa capacité à modifier les comportements, la taxe à payer pour un vol donné sera indiquée à côté du prix du billet par les compagnies aériennes, en plus d'une estimation des émissions en équivalents CO<sub>2</sub> générées par le voyage. En revanche, l'aviation générale sera

---

<sup>11</sup> Les combustibles synthétiques sont abordés dans la section 6.5.

soumise à un régime différent, à savoir une taxe par vol d'au moins 500 CHF et d'au plus 3000 CHF, éventuellement en fonction du poids autorisé au décollage. En plus des exceptions mentionnées ci-dessus, la taxe sur l'aviation générale ne s'appliquera pas non plus aux avions légers (pesant moins de 5 700 kg), aux vols d'entraînement, aux vols de fret, aux vols d'usine et aux vols liés au travail aérien ou dont le carburant est soumis à l'impôt sur les huiles minérales (vols intérieurs). 49% des recettes de la taxe sur les billets d'avion seraient versées dans un nouveau fonds climatique, tandis que 51% seraient redistribués à la population et aux entreprises.

L'effet de la taxe sur les émissions de l'aviation appliquée aux billets d'avion dépendra de la réactivité (c'est-à-dire de l'élasticité) des voyageurs à ce signal de prix. C'est ce que nous cherchons à estimer dans les deux chapitres suivants, en commençant par un examen des estimations existantes de la réactivité générale du transport aérien aux changements de prix.

## 4 Effets d'une taxe sur les billets d'avion - le rôle de l'élasticité de la demande

### 4.1 Élasticités de la demande

La mesure dans laquelle une taxe sur les billets d'avion affectera le volume des voyages aériens dépend en grande partie d'un paramètre simple : l'élasticité de la demande par rapport au prix.<sup>12</sup> Ce paramètre quantifie la sensibilité des consommateurs aux variations du prix des vols. L'élasticité est sans aucun doute négative : plus la taxe est élevée, plus la demande de transport aérien diminue. Nous indiquerons toutefois les valeurs de cette élasticité en valeur absolue, pour simplifier la notation. L'ampleur de l'élasticité est beaucoup plus incertaine. Plus elle est grande (en valeur absolue), plus une augmentation donnée de la taxation sera efficace pour réduire la demande de transport aérien. Si la demande n'est pas élastique, les augmentations de prix induites par les taxes ne se traduiront guère par une baisse substantielle du nombre de passagers, alors qu'avec une demande élastique, même des augmentations de prix modérées déclencheront une forte réduction du nombre de passagers.

En général, plus un client ou une cliente est flexible, plus il ou elle est sensible au prix. Lorsque les alternatives abondent, les hausses de prix sont durement sanctionnées par les clients qui se tournent

---

<sup>12</sup> L'élasticité de l'offre jouera également un rôle. Plus cette élasticité est faible, plus la part de la taxe qui sera absorbée par les compagnies aériennes (par exemple, par le biais de prix hors taxes plus bas et donc de marges bénéficiaires plus faibles) et non transférée aux consommateurs sera importante (voir section 5.6). Étant donné la nature concurrentielle de l'industrie européenne du transport aérien, nous faisons abstraction de ces effets et supposons une offre parfaitement élastique.

simplement vers un autre mode de transport (par exemple, trains à grande vitesse et trains de nuit) ou vers une autre activité (par exemple, vidéoconférence, vacances plus proches du domicile). Les études empiriques le confirment : les passagers sont plus sensibles au prix pour les vols courts (où d'autres modes de transport sont disponibles) et aux vols en classe économique (car les voyages pour raisons personnelles sont généralement plus flexibles que les voyages pour raisons professionnelles).

## 4.2 Littérature sur les élasticités de la demande de transport aérien

Nous allons maintenant examiner la littérature existante sur les élasticités-prix avant d'expliquer quelles estimations nous utilisons et pourquoi. La littérature sur cette question est plutôt réduite, mais nous avons pu examiner plus de 20 études empiriques. La plupart de ces études ont été menées avant 2000, les études récentes étant axées sur les tarifs en ligne et les analyses documentaires.

Dans une méta-analyse réalisée par Brons et al. (2002) qui comprend 34 études et 204 estimations d'élasticité, les principales variables explicatives des différences d'estimations d'élasticité sont le revenu, la distance de transfert, la portée géographique et la classe de voyage. Les passagers premium se sont avérés moins sensibles au prix (différence d'élasticité de 0,6), tandis que les vols long-courriers ne présentent qu'un niveau d'élasticité légèrement supérieur. En outre, l'estimation de la demande d'élasticité du transport aérien varie considérablement en fonction du niveau d'agrégation des données. Les estimations de l'élasticité ont tendance à être plus élevées lorsqu'elles sont estimées au niveau des vols individuels que lorsqu'elles sont estimées au niveau de marchés ou d'itinéraires entiers (InterVISTAS, 2007). Au niveau de pays de destination entiers, les estimations d'élasticité sont encore plus faibles qu'au niveau du marché ou de l'itinéraire. Dans le cadre de ce livre blanc, nous nous sommes principalement intéressés à l'utilisation des estimations d'élasticité au niveau national.

Gillen et al. (2003) ont procédé à un examen approfondi de la littérature existante, et notamment de 254 estimations d'élasticité provenant de 24 études. Ils ont trouvé des valeurs médianes d'élasticité de 0,265 pour les vols d'affaires long-courriers, de 0,7 pour les vols d'affaires court-courriers, de 1,040 pour les vols de loisirs long-courriers et de 1,52 pour les vols de loisirs court-courriers. Une étude d'InterVISTAS (2007), commandée par l'IATA, a trouvé des valeurs d'élasticité au niveau national de 1,23 pour les liaisons court-courriers en Europe, de 0,96 pour les liaisons transatlantiques long-courriers et de 0,48 pour les liaisons long-courriers Europe-Asie.

Une étude plus récente du CE Delft, réalisée pour la Commission européenne, utilise les résultats d'InterVISTAS (2007) et de Brons et al. (2002) pour obtenir des élasticités pour les passagers au départ de l'Europe. Pour les vols court-courriers, l'élasticité de la classe premium est estimée à 0,57 et celle de la classe économique à 1,12. Les élasticités intercontinentales correspondantes sont de 0,25 pour les billets premium et de 0,8 pour les billets économiques (CE Delft, 2019).

Dans une estimation globale pour les résidents du Royaume-Uni, le ministère britannique des Transports (2017) a estimé des élasticités de 0,2 pour les voyageurs d'affaires et de 0,7 pour les passagers de loisirs (y compris les vols court et long-courriers). Pour tous les vols au départ du Royaume-Uni, l'élasticité est estimée à 0,6 en moyenne.

Lorsqu'on estime les élasticités des voyages aériens au niveau des vols en utilisant les tarifs en ligne, on trouve un large éventail de valeurs d'élasticité. Bien que les élasticités au niveau des vols aient tendance à être plus élevées que les élasticités au niveau des itinéraires ou des pays (InterVISTAS, 2007), ces estimations peuvent s'avérer utiles lorsqu'il s'agit d'évaluer l'impact d'une taxe sur les billets d'avion pour les destinations où seules quelques compagnies aériennes sont en concurrence les unes avec les autres et où les élasticités au niveau des vols seront proches des élasticités au niveau des itinéraires.

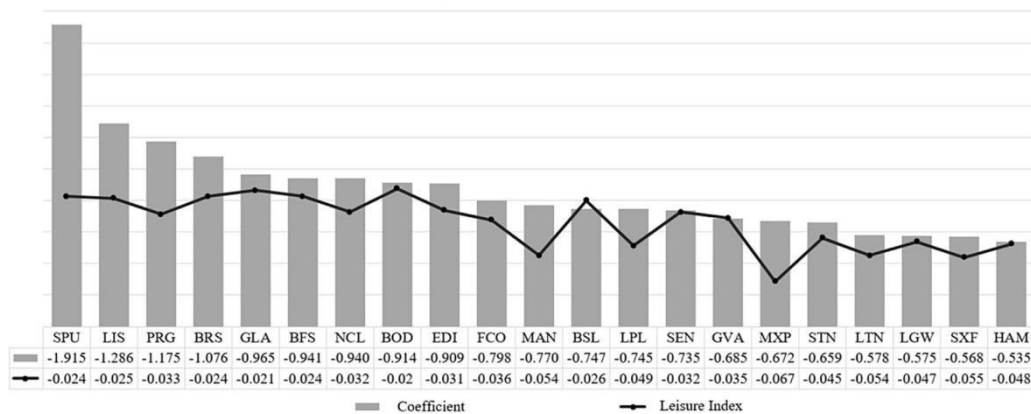


Figure 13: Estimations de l'élasticité au niveau des vols pour différents itinéraires d'EasyJet (Morlotti et al., 2017).

Une estimation des élasticités au niveau des vols pour la compagnie aérienne américaine JetBlue a donné des estimations comprises entre 0,57 et 3,21, avec 1,32 comme médiane (Mumbower et al., 2014). Une analyse similaire a été entreprise pour EasyJet, pour laquelle l'élasticité globale au niveau des vols a été estimée à 0,753, allant de 0,535 pour la liaison de Hambourg, orientée vers les affaires, à 1,915 pour la liaison de Split, orientée vers les loisirs (Figure 13, Morlotti et al., 2017). L'élasticité des prix tend à être plus élevée pour les réservations effectuées plusieurs jours à l'avance. Les auteurs ont également mesuré une élasticité plus élevée pour les réservations effectuées le week-end, à l'heure du déjeuner et pendant la période estivale.

Dans une étude réalisée pour le gouvernement suisse, INFRAS a recommandé une valeur d'élasticité de 1,2 pour les vols court-courriers et de 1 pour les vols long-courriers en classe économique, et de 0,5 pour les vols court-courriers et de 0,4 pour les vols long-courriers en classe premium (INFRAS, 2009). Le présent livre blanc applique des valeurs tirées d'InterVISTAS (2007).

Pour résumer la discussion de la littérature ci-dessus, le Tableau 1 donne un aperçu des résultats des plus importantes valeurs des études susmentionnées.

**Tableau 1: Aperçu des élasticités-prix trouvées dans la littérature**

Publication	Portée	Agrégation	Courts courriers économique	Longs courriers économique	Courts courriers premium	Longs courriers premium
Gillen et al. 2003	Dans le monde entier	Niveau national	1,52	1,04	0,7	0,265
Intervistas 2007	Europe	Niveau national	1,23	Transatlantique: 0,96 Transpacifique: 0,48	-	-
INFRAS 2009	Europe	Niveau national	1,2	1	0,5	0,4
Ministère britannique des Transports 2017	Royaume-Uni	Niveau national	Total : 0,6	Total : 0,2	-	-
CE Delft 2019	Europe	Niveau national	1,12	0,8	0,57	0,25
Mumbower et al. 2014	USA	Niveau de vol (JetBlue)	1,32	-	-	-
Morlotti et al. 2017	Europe	Niveau de l'itinéraire (EasyJet)	0,753	-	-	-

### 4.3 Élasticités utilisées pour nos simulations

Dans ce qui suit, nous nous concentrerons sur l'étude la plus complète des élasticités des prix du transport aérien, à savoir celle commandée par l'IATA, l'association professionnelle des compagnies aériennes mondiales, en 2007.<sup>13</sup> Selon cette étude, l'élasticité des prix pour les vols court-courriers en classe économique en Europe est d'environ 1,2. Cela signifie que lorsque les prix augmentent de 1%, la demande des passagers diminue de 1,2%. Cette même étude rapporte une estimation de l'élasticité pour les vols intercontinentaux long-courriers en classe économique d'environ 0,9. Les estimations correspondantes pour les vols court et long-courriers en classe premium sont respectivement de 0,6 et 0,3. On constate de manière assez frappante que ces estimations montrent que les passagers en classe économique intraeuropéenne sont quatre fois plus sensibles au prix que les passagers en classe premium intercontinentale.

Ces chiffres doivent toutefois être considérés comme des estimations de la borne inférieure. La raison en est qu'ils proviennent d'estimations économétriques qui ne prennent généralement pas en compte – comme la plupart des estimations dans la littérature universitaire connexe – un écueil méthodologique important : les variations de prix ne sont pas aléatoires et reflètent les conditions de la demande sous-jacente. Si, par exemple, le prix augmente de 1%, cela peut être dû à des facteurs

<sup>13</sup> InterVISTAS (2007). Cette étude a depuis été utilisée comme référence pour des rapports politiques tant pour la Suisse (Peter et al., 2009) que pour l'UE (Commission européenne, 2019). Nous n'avons pas connaissance d'une étude plus récente et méthodologiquement plus aboutie (idéalement quasi-expérimentale). Le manque de recherche dans ce domaine est flagrant.

saisonniers (météo estivale, ruée de Noël) ou au cycle économique (augmentation générale de l'activité). Même si une telle augmentation de prix est associée à une baisse de la demande de 1%, cela peut sous-estimer la sensibilité réelle de la demande, car la baisse de la demande sera atténuée par les conditions favorables qui ont conduit à une augmentation de prix au départ. En d'autres termes, si l'on était en mesure de contrôler tous ces facteurs liés au contexte, on trouverait probablement des estimations d'élasticité beaucoup plus importantes.<sup>14</sup> Les auteurs d'InterVISTAS (2007) étaient conscients de ce problème méthodologique et, pour un sous-ensemble d'élasticités, ont proposé des estimations alternatives qui contournent le problème statistique en exploitant la variation exogène. Dans ces estimations, les élasticités trouvées sont amplifiées de 75%, ce qui conduit presque à un doublement des effets. Nous prenons donc également en considération les estimations d'élasticité de la « borne supérieure » qui sont augmentées par ce facteur.

Le Tableau 2 résume la plage des estimations, entre la borne inférieure et la borne supérieure, pour les vols court et long-courriers et les vols économiques et d'affaires sur lesquels nous nous basons pour effectuer nos simulations.

**Tableau 2: Élasticités de la demande**

Estimations de l'élasticité	Court-courrier Économique	Long-courrier Économique	Court-courrier Premium	Long-courrier Premium
Borne inférieure	1,2	0,9	0,6	0,3
Borne supérieure	2,1	1,5	1,0	0,5
Borne supérieure post-COVID-19	2,1	1,5	1,2	0,9

*Notes* : pour la borne inférieure, les estimations pour le court-courrier en classe économique correspondent aux moyennes des estimations d'InterVISTAS (2007) de 1,23 et 1,12 ; les estimations pour le long-courrier en classe économique sont données par la moyenne des quatre estimations suivantes d'InterVISTAS (2007) : 1,06 / 0,96 / 0,79 / 0,72. Les estimations pour la classe Premium correspondent aux moyennes Classe économique susmentionnées moins la réduction de l'élasticité de la classe affaires estimée dans Brons et al. (2002). Pour la borne supérieure, les quatre valeurs susmentionnées sont chacune multipliées par 1,75, sur la base de la différence entre les estimations IV et MCO indiquées dans InterVISTAS (2007). Les élasticités présentées dans le tableau s'appliquent aux vols de loisirs en classe économique et aux vols professionnels en classe premium.

Une question importante est de savoir comment la pandémie de COVID-19 peut affecter les élasticités de la demande de vols. On pourrait supposer que l'essor des moyens de communication en ligne (vidéoconférences, webinaires, etc.) pourrait déplacer les courbes de demande de vols vers la gauche – maintenant que nous avons constaté que de nombreuses tâches pouvaient être accomplies efficacement sans nécessiter de réunions en personne, moins de voyages d'affaires

---

<sup>14</sup> Techniquement, le problème est un biais d'atténuation dû à l'endogénéité. Les changements de prix sont à la fois la cause et la conséquence des changements de la demande, mais ce que nous cherchons à estimer est uniquement le lien de causalité entre les changements de prix et les changements de la demande.

pourraient être entrepris au même prix. L'IATA, par exemple, prévoit qu'il faudra attendre 2024 pour atteindre le volume mondial du trafic aérien de 2019 (Pearce, 2020).

Cependant, ce qui importe pour nos simulations n'est pas la position de la courbe de demande, mais sa pente. Selon le raisonnement microéconomique standard, l'élasticité de la demande par rapport au prix pour un bien ou un service particulier augmente lorsque des substituts plus proches de ce bien ou de ce service apparaissent. Si l'on suit cette logique, on peut s'attendre à ce que la sensibilité au prix des voyages d'affaires en particulier augmente, maintenant que la communication en ligne s'est imposée comme un substitut plus proche des voyages qu'avant la pandémie. Toutefois, bien que cela semble très plausible, il s'agit d'une pure conjecture à ce stade, car il n'existe encore aucune preuve empirique.

Notre tentative de prise en compte de la modification de la demande de transport aérien après la pandémie de COVID-19 est très simple : nous supposons que l'élasticité-prix des passagers premium augmentera (en valeurs absolues) pour atteindre les élasticités inférieures de la classe économique indiquées dans le Tableau 2. Cela signifie que la borne supérieure de l'élasticité pour les vols court-courriers premium passera de 1,0 à 1,2, et que la borne supérieure de l'élasticité pour les vols long-courriers premium passera de 0,5 à 0,9. Le fait que nous supposons que l'élasticité long-courrier changera plus fortement après la pandémie de COVID-19 que l'élasticité court-courrier est conforme aux prévisions des entreprises selon lesquelles la vidéoconférence est particulièrement susceptible de se substituer aux voyages d'affaires longue distance (par exemple, *The Economist*, 2021). Cependant, nous n'apportons aucun ajustement aux élasticités supposées de la classe économique pour la pandémie COVID-19, en partant du principe que la pandémie n'aura pas de conséquences significatives à long terme sur ce segment de la demande.

## 5 Effets d'une taxe sur les billets d'avion - simulations

Nous utilisons les élasticités de la demande estimées pour une première appréciation de l'impact d'une série de barèmes fiscaux possibles sur le nombre de passagers, les kilomètres parcourus et les émissions de gaz à effet de serre causées. La question spécifique que nous posons est de savoir comment le nombre de passagers et les volumes d'émissions auraient différé en 2018 si un barème de taxes sur les billets d'avion donné avait été en vigueur. Nous extrapolons cette question à 2023, en supposant que les effets de la pandémie se seront dissipés, hormis ceux concernant les comportements de vol. Ce chapitre commence par décrire le modèle employé, ainsi que les données

et la procédure de calibrage. Ensuite, les différents barèmes de taxes simulés et les changements qui en résultent en termes de nombre de passagers et d'émissions sont présentés.

## 5.1 Cadre de modélisation

Le modèle segmente le marché de l'aviation selon trois dimensions, à savoir la distance de vol (court-courrier, court-courrier avec transfert vers un long-courrier, ou long-courrier), la classe de voyage (économique ou premium) et le motif du vol (privé ou professionnel). Le barème fiscal ne peut intégrer que deux des trois dimensions, à savoir la distance et la classe de voyage, ce qui donne lieu à six variables de choix. En effet, comme la raison du vol est une information privée, le régulateur ne peut pas imposer une taxe qui diffère entre les voyages à titre personnel et professionnel. En revanche, les élasticités de la demande sont caractérisées par les trois dimensions. Il en résulte une valeur par segment de marché, comme illustré dans le chapitre précédent (Tableau 2).

Notre modèle peut être résumé par les équations suivantes. La demande (nombre de passagers par segment) n'étant caractérisée que par un paramètre d'élasticité, cela revient à supposer la forme isoélastique suivante pour la fonction de demande :

$$Q_{d,c,r} = Q0_{d,c,r} \times (P_{d,c})^{\varepsilon_{d,c,r}},$$

où  $Q_{d,c,r}$  est le nombre de passagers pour les voyages de la catégorie de distance  $d$  (court-courrier, court-long-courrier, long-courrier) en classe  $c$  (économique, premium) pour le motif  $r$  (personnel, professionnel),  $P_{d,c}$  est le prix d'un voyage représentatif dans la catégorie de distance  $d$  et la classe  $c$ ,  $E$  est l'élasticité de la demande pour ce segment (Tableau 2), et  $Q0$  est un paramètre d'échelle correspondant au nombre de voyages demandés pour un prix égal à 1.

Lorsque la nouvelle taxe sur les billets d'avion  $Tax_{d,c}$  est ajoutée au prix moyen de ces voyages, nous obtenons la variation proportionnelle suivante du nombre de passagers :<sup>15</sup>

$$\frac{\Delta Q_{d,c,r}}{Q_{d,c,r}} = \left( \frac{P_{d,c} + Tax_{d,c}}{P_{d,c}} \right)^{\varepsilon_{d,c,r}} - 1.$$

Les passagers-kilomètres  $PKM$  sont obtenus en multipliant le nombre de passagers par la distance moyenne  $D_d$  du vol représentatif dans la catégorie de distance  $d$  (Tableau 6 ci-dessous) :

$$PKM_{d,c,r} = Q_{d,c,r} \times D_d.$$

---

<sup>15</sup> Il convient de noter que le modèle calcule réellement les changements dans la demande de transport aérien, et non les voyages réels, mais comme il s'agit de réductions, il n'y a pas de limites de capacité du côté de l'offre pour entraver ces changements (pour une discussion, voir la section 5.6).



Les passagers-kilomètres déterminent les émissions de CO<sub>2</sub>eq  $E$  lorsqu'ils sont multipliés par les facteurs d'émission  $F_{d,c}$  spécifiques à chaque catégorie de distance et classe de voyage (Tableau 5 ci-dessous) :

$$E_{d,c,r} = PKM_{d,c,r} \times F_{d,c} = Q0_{d,c,r} \times (P_{d,c})^{\varepsilon_{d,c,r}} \times D_d \times F_{d,c}.$$

Cela nous permet de calculer l'évolution de l'impact climatique du transport aérien sur les itinéraires de type  $d$ , dans la classe  $c$  et pour le motif  $r$ , lorsque le nombre de passagers change en réponse à l'augmentation de prix causée par l'introduction de la taxe sur les billets d'avion :

$$\frac{\Delta E_{d,c,r}}{E_{d,c,r}} = \frac{\Delta Q0}{Q0} + \frac{Tax_{d,c}}{P_{d,c}} \times \varepsilon_{d,c,r} + \frac{\Delta D_d}{D_d} + \frac{\Delta F_{d,c}}{F_{d,c}}. \quad (1)$$

Ces changements s'appliquent aux émissions moyennes par segment du Tableau 6. Enfin, nous calculons l'impact total de la taxe sur les billets d'avion sur l'impact climatique de l'aviation comme la moyenne pondérée de ces variations proportionnelles par segment, en utilisant les pondérations du Tableau 3.

Dans nos simulations statiques, nous comparons les émissions d'une année donnée (2018) avec le niveau qu'elles auraient atteint si la taxe sur les billets d'avion avait été perçue cette année-là. Dans cette vision statique, nous supposons que les distances moyennes parcourues par catégorie de distance sont les mêmes sans et avec taxe, tout comme les facteurs d'émission correspondants. Par conséquent, le niveau des émissions n'est affecté que par le nombre de passagers :<sup>16</sup>

$$\frac{\Delta E_{d,c,r}}{E_{d,c,r}} = \frac{Tax_{d,c}}{P_{d,c}} \times \varepsilon_{d,c,r}.$$

Dans nos simulations dynamiques, nous supposons que l'activité de transport aérien et les caractéristiques des avions évoluent dans le temps, et nous avons donc besoin de l'ensemble complet des déterminants de l'équation (1). Dans l'hypothèse d'une croissance continue de l'activité, il s'agit des augmentations de prix nécessaires simplement pour empêcher l'impact climatique de l'aviation d'augmenter :

$$\frac{Tax_{d,c}}{P_{d,c}} = \left( \frac{\Delta Q0}{Q0} + \frac{\Delta D_d}{D_d} + \frac{\Delta F_{d,c}}{F_{d,c}} \right) \times \frac{1}{-\varepsilon_{d,c,r}}.$$

---

<sup>16</sup> Deux valeurs seront toujours calculées, en utilisant les estimations des limites inférieure et supérieure de l'élasticité de la demande dans chaque segment (Tableau 2).

Si les taux de croissance du nombre de passagers sous-jacents (indépendants du prix)  $Q_0$  et de la distance moyenne  $D$  sont constants, éventuellement atténués par une amélioration constante des facteurs d'émission  $F$ , alors les augmentations en pourcentage des prix nécessaires pour un impact climatique constant sont également constantes, ce qui implique que la taxe doit augmenter continuellement, mais à un rythme décroissant.

## 5.2 Données et calibrage

### 5.2.1 LES PASSAGERS

Comme nous l'avons vu dans la section 3.4, seuls les passagers des vols de ligne et des vols charters seront soumis à la taxe sur les billets d'avion considérée ici, et parmi eux, les passagers en transfert et en transit seront exemptés. Par conséquent, nous considérons uniquement les passagers locaux au départ d'un aéroport suisse. En 2018 – année de référence de notre exercice de simulation – ils étaient 24,4 millions, sans compter les 4,6 millions de passagers en transfert. Une enquête annuelle menée auprès d'un échantillon de passagers au départ de l'aéroport de Zurich montre que 44% d'entre eux (en 2018 et 2019) sont des résidents suisses (Aéroport de Zurich, 2020). Comme l'enquête inclut les passagers en transfert et que Zurich est vraisemblablement utilisé par une part plus élevée de passagers en transfert que les autres aéroports, on peut supposer que la moitié des passagers locaux sont des résidents suisses. Cela représenterait 12,2 millions de passagers locaux résidents au départ d'un aéroport suisse en 2018.

La croissance du nombre de passagers a été estimée à 3,2% par an jusqu'en 2030 par Intraplan Consult (2015) (Figure 8). Ce taux de croissance est un peu plus faible que le taux de croissance annuel mondial estimé à 3,7% dans les dernières prévisions de l'IATA sur 20 ans concernant les passagers aériens (IATA, 2020). Néanmoins, nous avançons un taux de croissance un peu plus modeste compte tenu des conséquences de la pandémie COVID-19 de 2020-2021, notamment en l'extrapolant jusqu'en 2050 : 2,5% par an.

Afin de répartir les passagers entre les différents segments de marché, nous procédons comme suit. En ce qui concerne la dimension de la distance, nous nous appuyons sur les données de l'OFS (2019) : les passagers dont la destination finale est située en Europe sont affectés au groupe court-courrier, les passagers embarquant dans un avion volant vers un autre continent sont affectés au groupe long-courrier, tandis que les passagers dont la destination finale est située hors d'Europe mais qui sont à bord d'un avion se dirigeant vers une destination européenne sont affectés au groupe court-long-courrier.<sup>17</sup> Concernant la classe de voyage - économique ou premium - et le motif du voyage - personnel ou professionnel - nous employons les données publiées par l'aéroport de Zurich (2019)

---

<sup>17</sup> Nous utilisons cette terminologie pour éviter toute confusion avec les passagers en transfert dans les aéroports suisses.

pour 2018. Les passagers sont répartis proportionnellement entre les segments de marché (Tableau 3). Ces parts sont supposées rester constantes dans le temps et devraient fournir une approximation pertinente du marché de l'aviation à l'avenir.

**Tableau 3: parts de passagers locaux par segment de marché (2018,%).**

	Économique		Premium	
	Personnel	Professionnel	Personnel	Professionnel
Court-courrier	53,2	19,7	5,3	1,9
Court-long-courrier	1,8	0,7	0,2	0,1
Long-courrier	11,5	4,3	1,1	0,4

### 5.2.2 DISTANCES

La distance typique d'un vol au départ d'un aéroport suisse est calculée sur la base des données de l'OFS (2020a). Nous déduisons la distance en kilomètres à partir du nombre de passagers-kilomètres et de passagers transportés vers l'Europe et vers le reste du monde. Nous obtenons une distance moyenne aller de 930 km pour les vols vers des destinations européennes et de 6 405 km pour les vols intercontinentaux. En partant du principe que l'emplacement de l'escale est aléatoire par rapport à la destination finale, on suppose que la distance typique d'un vol court-long-courrier est la somme de ces deux valeurs.

Un écueil important est que ces distances sont basées sur les services fournis par les avions qui atterrissent ou décollent en Suisse uniquement, et n'incluent donc pas les étapes ultérieures du voyage des passagers (généralement celles qui ont lieu après un transfert situé hors d'Europe). Néanmoins, conformément à la réglementation existante dans d'autres juridictions, une taxe devrait être fixée en fonction de la destination finale des passagers, étant donné qu'ils seront exemptés des taxes locales en raison de leur statut de « passager en transfert ». S'il semble raisonnable de supposer que le nombre de passagers dont le voyage se termine en Europe mais qui ne s'y rendent pas directement est négligeable, cela l'est moins pour les voyages intercontinentaux (par exemple, un vol vers l'Australie s'accompagne généralement d'une escale en Asie du Sud-Est). Par conséquent, afin d'obtenir une approximation de la distance totale parcourue par les passagers, nous faisons correspondre les villes listées comme destinations finales par l'OFS (2019) avec les coordonnées géographiques (latitude/longitude) de la base de données Simplemaps (2020). Les destinations appariées résultant de cette procédure représentent 86% des passagers sortants. Étant donné le manque de données détaillées sur les transferts et leurs emplacements, nous calculons ensuite la distance réelle la plus courte, ou orthodromie, entre chacun des trois aéroports nationaux suisses et les villes de destination appariées, pondérée par les flux de passagers correspondants. La distance intercontinentale qui en résulte est de 7 080 km, soit environ 675 km de plus que lorsque seuls les

vols directs sont pris en compte.<sup>18</sup> Cette valeur représentant la distance la plus courte entre les aéroports suisses et la destination finale des passagers; elle doit donc être considérée comme une borne inférieure, en supposant qu'il n'existe aucune corrélation entre l'appariement et l'orthodromie. Toutefois, même si ce chiffre peut sembler faible, les voyages en avion en plusieurs étapes ont tendance à être structurés de manière à minimiser la distance parcourue et peuvent ne pas s'écarter de l'itinéraire le plus court de manière significative. En outre, seule une minorité de passagers se rendant sur d'autres continents sont transférés sur un vol ultérieur en dehors de l'Europe.

Enfin, comme toutes les distances susmentionnées se réfèrent aux orthodromies, une correction leur est ajoutée pour tenir compte des retards, des itinéraires de vol indirects et des conditions météorologiques défavorables, conformément aux recommandations de l'OACI (2017) : 100 km pour les vols court-courriers, 125 km pour les vols long-courriers et 225 km pour les vols court-long-courriers. Les préférences de voyage en termes de localisation devraient rester identiques, en moyenne, à l'avenir.

Il ne reste plus qu'à additionner la distance orthodromique complète avec cette correction (dernière colonne du Tableau 4). Ce sont les chiffres utilisés pour calculer l'impact climatique de vols types court-courriers, court-long-courriers et long-courriers, selon la classe de voyage. Lorsque nous calculons la contribution de l'aviation à l'empreinte climatique de la Suisse, nous utilisons ces chiffres. Pour tenir compte du fait que seule la moitié environ des passagers au départ des aéroports suisses sont des résidents, il faut les diviser par deux. Cependant, presque tous les résidents qui s'envolent d'un aéroport suisse y retournent un jour ou l'autre, de sorte que la distance doit être multipliée par deux. Les deux corrections s'annulent.

**Tableau 4: distances typiques (km)**

	1 <sup>er</sup> trajet (orthodromie)	Voyage complet (orthodromie)	Avec correction
Court-courrier	930	930	1 030
Court-long-courrier	930	8 010	8 235
Long-courrier	6 405	7 080	7 205

### 5.2.3 IMPACT SUR LE CLIMAT

Les facteurs d'émissions sont dérivés du calculateur d'émissions de carbone de l'OACI (OACI, 2016). Nous commençons par collecter les données affichées par l'outil pour un échantillon de 84 itinéraires représentatifs au départ des trois aéroports nationaux suisses, parmi lesquels les

---

<sup>18</sup> Afin de vérifier la cohérence de notre procédure, nous effectuons également l'analyse pour les villes d'Europe : une distance cohérente de 960 km est obtenue, sur la base de villes appariées représentant 87% des passagers.

10 destinations les plus populaires, situées à la fois en Europe et sur d'autres continents. Nous procédons ensuite à un certain nombre d'ajustements. Tout d'abord, nous multiplions la quantité de carburant brûlé en kilogrammes par un facteur de 3,14 pour obtenir les émissions de CO<sub>2</sub> en kilogrammes, conformément à l'OFS (2020b). Ensuite, étant donné que les avions sont principalement utilisés pour déplacer des personnes plutôt que du fret, nous attribuons la totalité de la consommation de carburant et des émissions correspondantes aux passagers. D'autre part, nous conservons les coefficients de remplissage de l'OACI, car ils ne peuvent pas être directement ajustés à ceux publiés par l'OFS (2020a), mais semblent être d'une ampleur similaire. En outre, conformément à la documentation technique publiée par les fabricants d'avions (Airbus, 2020) et aux informations partagées par les compagnies aériennes (Swiss, 2020), nous estimons que les modèles d'avions opérant dans les aéroports suisses en 2018 étaient 20% plus efficaces que ceux considérés par l'OACI, étant donné le renouvellement continu de la flotte par les principales compagnies aériennes actives en Suisse, et en réponse à la structure des taxes d'atterrissage dans les aéroports suisses, qui pénalise les avions plus polluants. Pourtant, nous supposons que seul un tiers de la flotte en exploitation est modernisé d'ici la fin de 2018. Enfin, les émissions par passager-kilomètre sont obtenues en divisant les émissions par passager par la distance parcourue, c'est-à-dire l'orthodromie plus la correction OACI pertinente pour les retards, les itinéraires de vol indirects et les mauvaises conditions météorologiques.

Jusqu'à présent, les valeurs calculées reflètent les émissions d'un passager de classe économique standard. Pour cette raison, les émissions par passager-kilomètre sont ajustées pour refléter l'espace plus important occupé par les sièges premium par rapport à leurs homologues de la classe économique. Nous utilisons les valeurs de DBEIS (2019) et une comparaison entre les rapports publiés par les constructeurs d'avions et les aménagements typiques des cabines des compagnies aériennes (Airbus, 2020 ; Swiss, 2020). L'espace et le poids relatifs, ainsi que la prévalence des sièges dans chaque classe, sont pris en compte. En conséquence, nous avons fixé les émissions par passager de la classe premium (affaires) à 1,5 fois celles d'un passager de la classe économique pour les vols court-courriers. Pour les vols long-courriers, les émissions par passager premium (affaires, première) sont trois fois supérieures à celles d'un passager économique. Nos estimations sont conformes à la valeur moyenne publiée par Lufthansa (2019) pour sa flotte.

**Tableau 5: facteurs d'émission (kgCO<sub>2</sub> par passager-kilomètre)**

	Économique	Premium
Court-courrier	0,1054	0,1581
Court-long-courrier	0,0792	0,2217
Long-courrier	0,0754	0,2308

Pour nos simulations dynamiques, nous supposons que les facteurs d'émission diminuent de 1,5% par an en moyenne, suivant le scénario le plus optimiste de l'OACI (OACI, 2019b). Cela reflète les

gains d'efficacité continus, que ce soit par une meilleure gestion du trafic aérien, des améliorations opérationnelles ou une technologie améliorée des aéronefs. Cela n'inclut pas le remplacement progressif des carburants d'origine fossile par des carburants à faible teneur en carbone, mais d'un autre côté, cela ne tient pas compte non plus du fait que les compagnies aériennes desservant les aéroports suisses sont déjà plus économes en carburant que la moyenne mondiale, ce qui réduit le potentiel d'amélioration (cf. section 6.5.3).

Pour évaluer la qualité de la calibration ci-dessus, nous confrontons les émissions de CO<sub>2</sub> impliquées par nos données avec les données officielles publiées dans l'inventaire des gaz à effet de serre de la Suisse pour 2018. En considérant les passagers au départ et la première étape de leur voyage, nous obtenons 5,62 MtCO<sub>2</sub>, ce qui, comme prévu, est légèrement inférieur au chiffre officiel de 5,74 MtCO<sub>2</sub>. En effet, si le segment du trafic de ligne et charter est sans aucun doute le plus gros consommateur de carburant, une part de ce total doit être attribuée au segment de l'aviation générale de l'aviation suisse.

Comme nous l'avons vu dans la section 2.1, la combustion de carburéacteur génère diverses autres émissions qui, ensemble, ont un effet positif net sur le forçage radiatif. Sur la base de cette discussion et de la littérature scientifique la plus récente, nous multiplions les émissions de CO<sub>2</sub> par un indice de forçage radiatif (RFI) de 3 pour tenir compte de cet effet et estimer l'impact climatique total des voyages individuels en unités CO<sub>2</sub>eq.

En multipliant les facteurs d'émission du Tableau 5 par le RFI de 3 et les distances correspondantes de chaque segment de marché (dernière colonne du Tableau 4), on obtient des émissions allant de 326 kgCO<sub>2</sub>eq pour le vol court-courrier représentatif en classe économique à 5 477 kgCO<sub>2</sub>eq pour le vol court-long-courrier représentatif en classe premium (Tableau 6).

**Tableau 6: impact climatique d'un vol typique (kgCO<sub>2</sub>eq)**

	Économique	Premium
Court-courrier	326	489
Court-long-courrier	1 956	5 477
Long-courrier	1 630	4 989

En multipliant les impacts climatiques des vols types du Tableau 6 par les parts de passagers par segment du Tableau 3, on obtient l'empreinte moyenne pondérée des passagers au départ en 2018 : 667 kgCO<sub>2</sub>eq par passager, soit 19,4 millions de tonnes pour l'ensemble des passagers locaux. La part de chaque segment est représentée dans la Figure 14.

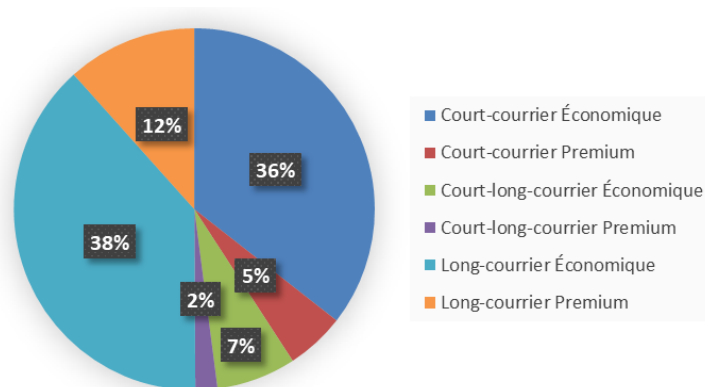


Figure 14: parts des différents segments dans l'impact climatique total des passagers locaux au départ des aéroports suisses (2018, propres estimations).

Même si les trois quarts de tous les voyages sont des voyages en classe économique court-courriers (73%, Figure 15), ils ne représentent qu'un tiers de toutes les émissions (36%). Les voyages long-courriers, y compris ici les voyages court-long-courriers, sont effectués par 20% de tous les passagers, mais représentent 60% des émissions. L'impact le plus frappant est celui des vols long-courriers en premium (y compris ceux avec escale), qui, avec moins de 2% des passagers, sont à l'origine de 14% des émissions. La Figure 16 montre qu'il ne s'agit pas d'une spécificité de la Suisse ou de nos données, mais qu'en Europe également, la part des vols long-courriers dans les émissions (plus de 1 500 km) est trois fois supérieure à leur proportion dans les passagers.<sup>19</sup>

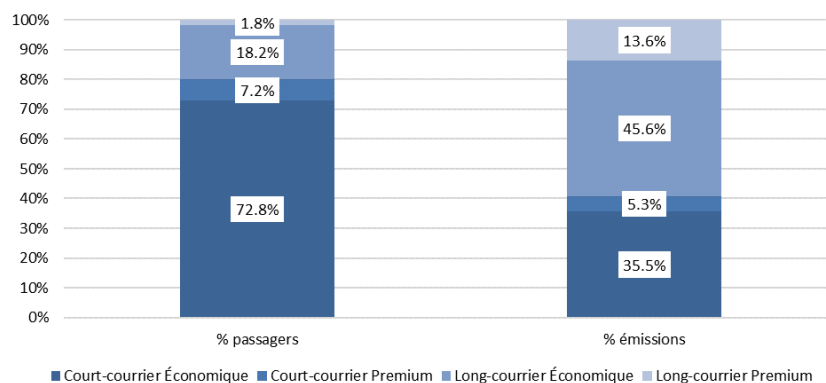


Figure 15: parts des passagers au départ des aéroports suisses par distance de vol et impact climatique attribuable (2018, propres estimations)

<sup>19</sup> Les statistiques présentées concernent les départs des aéroports des 40 États européens qui participent à la zone de traitement des redevances de route centrales d'EUROCONTROL.

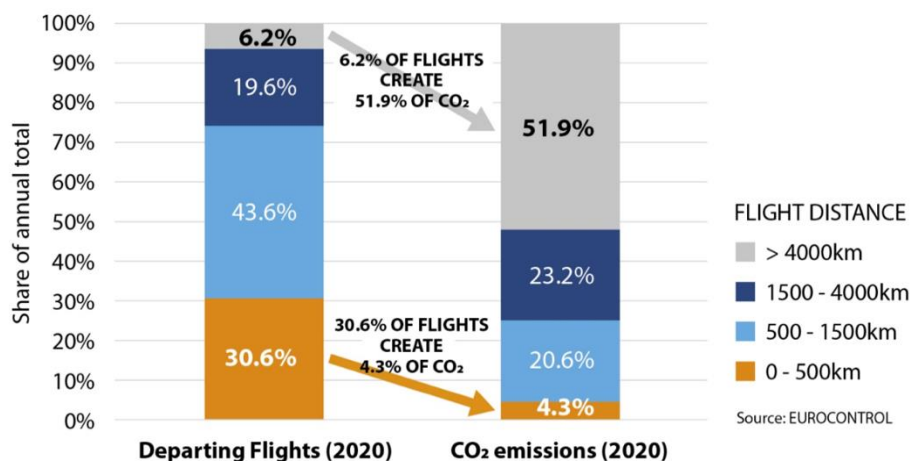


Figure 16: parts des passagers au départ des aéroports européens en fonction de la distance de vol et de l'impact climatique attribuable (EUROCONTROL 2021)

Par conséquent, l'impact de la taxe sur les billets d'avion sur les émissions totales dépendra dans une large mesure du tarif des vols long-courriers, notamment en classe premium, et de l'élasticité de la demande dans ces segments.

#### 5.2.4 PRIX

Lorsqu'elle choisit de prendre l'avion ou non, une cliente potentielle évalue le coût induit par le voyage, ce qui entraîne deux exigences méthodologiques : premièrement, il convient de considérer le prix de l'aller-retour, plutôt que celui de l'aller simple, et deuxièmement, le coût du vol vers la destination finale du voyage, plutôt que celui du premier trajet uniquement, est pertinent. Par conséquent, afin d'obtenir des prix représentatifs pour les segments de marché considérés, nous nous concentrons sur les dix aéroports les plus populaires en 2018 répertoriés comme destinations finales des passagers par l'OFS (2019), tant en Europe qu'en dehors. Pour les vols court-courriers, les dix destinations que nous considérons<sup>20</sup> représentent 32% des départs court-courriers en termes de flux de passagers (6,1 millions). Pour les vols long-courriers, qui représentent une minorité des flux de passagers, les dix destinations retenues<sup>21</sup> représentent 30% des départs long-courriers en termes de flux de passagers (1,5 millions). En passant des destinations aux paires de villes, nous considérons les vols au départ des trois aéroports nationaux suisses (BSL, GVA, ZRH) vers chaque destination, le volume des départs ayant lieu dans les aéroports régionaux étant négligeable.

<sup>20</sup> Londres Heathrow, Amsterdam Schiphol, Barcelone, Londres Gatwick, Porto, Madrid Barajas, Berlin Tegel, Vienne, Lisbonne, Palma de Mallorca.

<sup>21</sup> Tel Aviv Ben Gurion International, Suvarnabhumi Bangkok International, New York JFK, Dubaï, Hurghada, Toronto Lester Pearson International, New York Newark International, Marrakech, Singapore Changi, Muscat.



Le prix type d'un itinéraire donné a été extrait des données de Google-Flights (2020) lorsque nous avons commencé la modélisation, en juin 2020.<sup>22</sup> Pour la raison décrite ci-dessus et parce que les compagnies aériennes imposent généralement une pénalité aux passagers qui réservent des allers simples, les prix des billets aller-retour ont été collectés. Nous avons supposé une durée de séjour à l'étranger de sept jours (du 15<sup>e</sup> au 21<sup>e</sup> jour de chaque mois), étant donné que les compagnies aériennes pénalisent généralement les courts séjours. Dans un premier temps, la moyenne des valeurs typiques « basse » et « haute » des meilleures offres pour un mois et une classe donnés a été calculée. L'avantage d'utiliser la fourchette de prix des meilleures offres, contrairement aux billets réels proposés à l'achat, est sa robustesse aux effets concernant le jour de départ, ainsi que sa nature spécifique au mois. Ensuite, les moyennes mensuelles par classe sont moyennées sur l'année. Enfin, le prix moyen d'un trajet donné est pondéré par le flux de passagers correspondant. La méthodologie adoptée nous permet d'obtenir des tarifs représentatifs en évitant les effets de tarification dynamique et en contrôlant les tendances saisonnières.

Pour les vols court-courriers, les classes standard économique et affaires sont considérées, conformément aux classes de sièges proposées par les compagnies aériennes.<sup>23</sup> Pour les vols long-courriers, les classes suivantes sont prises en compte : économie, affaires et première. Afin d'obtenir un prix représentatif de la classe premium, les deux dernières ont été considérées conjointement, et pondérées en fonction de leur prévalence moyenne selon DBEIS (2019). Enfin, la procédure ci-dessus est répétée, à la différence que nous permettons qu'un transfert ait lieu pendant le voyage pour caractériser les vols court-long-courriers. En conséquence, nous obtenons les six prix représentatifs présentés dans le Tableau 7.

**Tableau 7: prix des billets (CHF)**

	Économique	Premium
Court-courrier	155	570
Court-long-courrier	490	2 745
Long-courrier	700	4 570

### 5.2.5 ÉLASTICITÉS

Les élasticités figurant dans le Tableau 2 du chapitre précédent n'établissent pas de distinction pour ce qui est du motif du voyage, même s'il faut supposer que la sensibilité de la demande au prix n'est

---

<sup>22</sup> Pour tenir compte des conséquences liées à la COVID-19, nous avons corrigé certains de ces prix en les comparant à un échantillon plus petit collecté en février 2020. Les prix des vols court-courriers ont été pris tels quels. Les prix directs long-courriers ont été corrigés selon un facteur 1/0,95 en économique et 1/0,9 en premium. Les prix indirects des vols long-courriers se sont vu appliquer un facteur 1/0,97 pour les deux classes.

<sup>23</sup> Les compagnies aériennes ne permettent de choisir entre la classe économique standard et la classe affaires que sur les vols court-courriers.

pas la même pour les vols de loisirs et les vols professionnels. Nous supposons donc que les élasticités du Tableau 2 s'appliquent au motif type de chaque segment : personnel pour les vols en classe économique, professionnel pour les vols en classe premium. Les élasticités pour les vols professionnels en classe économique et les vols pour motifs personnels en classe premium sont interpolées. Ainsi, les 25% de passagers que l'on estime voyager en classe économique pour des raisons professionnelles sont supposés avoir une sensibilité au prix intermédiaire entre celle des vols personnels en économie et celle des vols pour motifs professionnels en premium. Pour les vols court-long-courriers, nous partons sur les mêmes élasticités que pour les vols long-courriers. Les élasticités qui en découlent sont décrites dans le Tableau 8.

**Tableau 8: élasticités de la demande pour tous les segments du marché**

	Économique		Premium	
	Personnel	Professionnel	Personnel	Professionnel
	Borne inférieure			
Court-courrier	1,20	0,90	0,90	0,60
Court-long et long-courriers	0,90	0,60	0,60	0,30
	Borne supérieure pré-COVID-19 (jusqu'en 2019)			
Court-courrier	2,10	1,55	1,55	1,00
Court-long et long-courriers	1,50	1,00	1,00	0,50
	Borne supérieure post-COVID-19 (à partir de 2020)			
Court-courrier	2,10	1,65	1,65	1,20
Court-long et long-courriers	1,50	1,20	1,20	0,90

## 5.3 Scénarios de barème de taxation

### 5.3.1 BARÈME DE TAXATION DE LA LOI SUR LE CO<sub>2</sub> ET TAXE IMPLICITE SUR LE CO<sub>2</sub>

La nouvelle loi sur le CO<sub>2</sub> ne prévoit pas de barème pour la taxe sur les billets d'avion ; elle fixe seulement une borne inférieure et supérieure – respectivement 30 et 120 CHF – et mentionne la possibilité d'établir une distinction selon la classe de voyage et la durée du vol. Elle exempte les passagers en transfert de la taxe sur les billets d'avion, alors qu'ils représentent 15% de tous les passagers au départ des aéroports suisses. C'est le rôle du Conseil fédéral de proposer un barème dans une ordonnance. Il l'a fait en avril 2021. Le barème proposé, qui n'est à l'heure actuelle qu'en phase de large consultation, prévoit d'appliquer une taxe de 30 CHF sur les vols en classe économique à destination de l'Europe, à l'exception de certaines destinations à la périphérie de l'Europe considérées comme moyen-courrier. Le montant grimpe à 60 CHF pour les vols moyen-courriers et

à 90 CHF pour les vols long-courriers, qui comprennent toutes les destinations à l'est de l'Oural, au sud des pays frontaliers du bassin méditerranéen ou outre-Atlantique. Les tarifs sont les mêmes pour les vols court-long-courriers. Un supplément de 30 CHF est appliqué pour le même vol en classe premium.

Notre modèle ne distingue pas les vols moyen-courriers et long-courriers; nous ne considérerons donc que les montants de 30 et 90 CHF, augmentés de 30 CHF en premium (Tableau 9).<sup>24</sup> En divisant ces tarifs par les impacts climatiques moyens correspondants du segment de vol (Tableau 6), on obtient la taxe CO<sub>2</sub> implicite affichée dans la dernière colonne du Tableau 9.

**Tableau 9: taxe sur les billets d'avion de la loi sur le CO<sub>2</sub> et prix implicite du CO<sub>2</sub>**

		Taxe sur les billets d'avion (CHF)	Taxe CO <sub>2</sub> implicite (CHF/tonne CO <sub>2</sub> eq)
Court-courrier	Économique	30	92
Court-courrier	Premium	60	123
Court-long courrier	Économique	90	46
Court-long courrier	Premium	120	22
Long-courrier	Économique	90	55
Long-courrier	Premium	120	24

Le simple fait d'examiner la taxe carbone implicite pour les vols en classe économique révèle qu'elle est environ deux fois plus élevée pour les vols court-courriers que pour les vols long-courriers. Rappelons le fait que nous avons pris en compte l'impact climatique total des vols court-courriers, y compris l'importance relative plus grande du décollage et de l'atterrissage. Il faut donc trouver une autre explication au traitement très inégal des vols court et long-courriers, alors que la loi sur le CO<sub>2</sub> stipule que l'impact climatique doit être pris en compte dans la fixation des tarifs (art. 44). Cela est dû au fait que le Parlement a imposé les bornes de 30 à 120 CHF, soit un taux maximal seulement 4 fois plus élevé que le taux minimal alors que l'impact climatique du vol court-long-courrier moyen en premium est plus de 15 fois supérieur à celui du vol court-courrier moyen en classe économique (Tableau 6). Il existe toutefois un argument justifiant la taxation plus élevée des vols court-courriers : la présence d'alternatives telles que les trains de nuit et les trains à grande vitesse.

Le supplément de 30 CHF pour la classe premium par rapport à la classe économique est également une approximation très grossière de l'impact climatique supplémentaire attribuable à ces sièges plus

---

<sup>24</sup> Certaines destinations moyen-courriers énumérées dans le projet d'ordonnance étant européennes, nous les compterions donc comme des destinations court-courriers, et certaines étant des destinations sud-méditerranéennes, nous les compterions comme des destinations long-courriers. Par conséquent, le fait que nous ne prenons pas en compte ce segment ne constitue pas un biais.

larges. Pour les vols court-courriers, elle paraît excessive, car la classe premium n'a pas un impact climatique double de celui de la classe économique. Pour les vols long-courriers, elle sous-estime considérablement l'impact climatique supplémentaire des classes premium. Ainsi, le vol long-courrier moyen en premium n'est taxé qu'à hauteur de 24 CHF par tonne de CO<sub>2</sub>eq alors que le vol court-courrier moyen en premium est taxé à hauteur de 123 CHF par tonne de CO<sub>2</sub>eq.

### 5.3.2 SCÉNARIOS DE BARÈME DE TAXATION À SIMULER

Nous envisageons quatre scénarios, les deux premiers étant compatibles avec les principes de la nouvelle loi sur le CO<sub>2</sub>, les deux autres visant à obtenir des réductions d'émissions plus importantes. Ces scénarios sont résumés dans le Tableau 10.

**Tableau 10: scénarios de taux de taxe sur les billets d'avion (CHF)**

		Scénario		
		Loi CO <sub>2</sub>	UK Duty	Taxe CO <sub>2</sub>
Court-courrier	Économique	30	17	24
Court-courrier	Premium	60	34	36
Court-long courrier	Économique	90	107	145
Court-long courrier	Premium	120	234	405
Long-courrier	Économique	90	107	121
Long-courrier	Premium	120	234	369

Scénarios de taxation :

- (1) Loi sur le CO<sub>2</sub> : notre interprétation du calendrier envisagé par le Parlement dans le cadre de la nouvelle loi sur le CO<sub>2</sub>, les vols intercontinentaux passant par les hubs européens étant traités comme des vols long-courriers.
- (2) Loi sur le CO<sub>2</sub> avec croissance : taux de taxation identique à celui du scénario (1), mais augmentant de 4,7% par an jusqu'en 2050, taux nécessaire pour maintenir l'impact climatique constant malgré l'augmentation du nombre de passagers.
- (3) UK Duty : taux de taxation équivalent au UK Air Passenger Duty 2021.
- (4) Taxe sur le CO<sub>2</sub> : taux de taxation proportionnel à l'impact climatique (émissions de CO<sub>2</sub> × 3 × 74 CHF/tonne CO<sub>2</sub>eq).

Dans le premier scénario, les passagers en classe économique sur les vols court-courriers paient la taxe minimale de 30 CHF, et les passagers en classe premium sur les vols court-courriers paient 60 CHF. Pour les vols long-courriers, ces montants sont respectivement de 90 et 120 CHF. Les vols long-courriers avec une correspondance dans un hub européen sont taxés comme les vols long-courriers.

Le deuxième scénario part sur la base des taux de taxation du premier scénario, mais ces taux ne sont pas constants jusqu'en 2050. Au lieu de cela, ils sont augmentés de 4,71% chaque année, un taux calculé sous la contrainte que les émissions totales de CO<sub>2</sub> en 2050 ne dépassent pas celles de 2018. Il convient de noter que le modèle utilise des prix de base constants pour les billets, de sorte que la progression peut être interprétée en termes réels.

Le troisième scénario se calque sur le tarif de la taxe britannique sur les passagers aériens, la plus élevée d'Europe. Cette taxe sur les billets d'avion va de 13 GBP pour les vols court-courriers en classe économique à 180 GBP pour les vols long-courriers en classe premium. Nous nous basons sur un taux de change GBP/CHF de 1,30 CHF.

Le quatrième scénario envisage une taxe de 74 CHF par tonne de CO<sub>2</sub>eq, en utilisant le facteur RFI de 3 pour tenir compte de l'impact climatique des émissions à haute altitude, conformément au consensus scientifique actuel (section 2.1). Les émissions du vol de retour ne sont pas prises en compte. Ce taux de 74 CHF a été choisi de manière à ce que la taxe sur les billets pour les vols long-courriers en classe économique soit à peu près égale au taux maximal de la loi sur le CO<sub>2</sub>, soit 120 CHF. Il est inférieur aux 96 CHF par tonne de CO<sub>2</sub> prélevés sur les combustibles de chauffage en vertu de l'actuelle loi suisse sur le CO<sub>2</sub> (taux pour 2018 à 2021). En revanche, aucune taxe sur le CO<sub>2</sub> n'est perçue sur les carburants des transports terrestres. Les taux de la taxe sur les billets d'avion proportionnels à l'impact climatique des vols seraient sensiblement différents de ceux de la nouvelle loi sur le CO<sub>2</sub>. Ils seraient beaucoup plus élevés pour les vols long-courriers, notamment en premium. En effet, la fourchette fixée dans la loi sur le CO<sub>2</sub> pour la taxe sur les billets d'avion – de 30 à 120 CHF – ne peut être rendue compatible avec la fourchette des émissions de CO<sub>2</sub> des différents types de vols (section 5.3.1). En particulier, le supplément de 30 CHF pour les vols en premium par rapport aux vols en classe économique est très loin de refléter les émissions supplémentaires généralement attribuées aux passagers premium sur les vols long-courriers.

## 5.4 Simulations du modèle

Le principal facteur de changement du nombre de passagers et des impacts climatiques qui en découlent est l'augmentation en pourcentage du prix provoquée par la nouvelle taxe sur les billets d'avion. Nous partons de l'hypothèse que la taxe est entièrement répercutée sur les passagers, c'est-à-dire que les compagnies aériennes ne peuvent en absorber une partie en vue d'atténuer l'impact sur la demande (pour une discussion, voir la section 5.6). Dans cette hypothèse, les variations simulées en pourcentage des prix pour les prix moyens supposés (Tableau 7) et les différents barèmes de taxes (Tableau 10) sont représentées dans le Tableau 11.

**Tableau 11: changements de prix induits par les taux de taxes sur les billets d'avion dans les quatre scénarios (2018, sauf « Loi sur le CO<sub>2</sub> avec croissance »)**

		Loi CO <sub>2</sub>	Loi CO <sub>2</sub> avec croissance 2050	UK Duty	Taxe CO <sub>2</sub>
Court-courrier	Économique	+19%	+84%	+11%	+16%
Court-courrier	Premium	+11%	+46%	+6%	+6%
Court-long courrier	Économique	+18%	+80%	+22%	+30%
Court-long courrier	Premium	+4%	+19%	+9%	+15%
Long-courrier	Économique	+13%	+56%	+15%	+17%
Long-courrier	Premium	+3%	+11%	+5%	+8%

#### 5.4.1 BARÈME DE TAXATION SELON LA LOI SUR LE CO<sub>2</sub>

Le premier scénario de taxation augmente de 19% le prix des vols court-courriers en classe économique, le segment le plus important en termes de passagers (Tableau 11). Les prix des vols long-courriers augmentent moins, en particulier ceux des vols premium, un segment qui a un impact disproportionné sur les émissions de CO<sub>2</sub>. Par conséquent, l'impact sur les émissions du barème de taxation proposé sera moindre que son impact sur le nombre de passagers. Les effets de ce scénario sont présentés dans le Tableau 12. Il entraîne une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> comprise entre 10% (borne inférieure d'élasticité) et 16% (borne supérieure). Les effets restent quasiment constants dans le temps puisque le barème des taxes reste inchangé. Les élasticités supérieures un peu plus élevées supposées après la pandémie de COVID-19 pour certains segments plus petits font passer l'impact sur les émissions de CO<sub>2</sub> de -15,7% à -16,2%. Les recettes fiscales augmentent au fil du temps, passant d'environ 1 milliard de CHF en 2018 à 2 milliards en 2050, en raison de la hausse tendancielle du nombre de passagers.

**Tableau 12: effets du barème fiscal tel qu'il figure dans la loi sur le CO<sub>2</sub>**

	2018	2030	2050
Élasticités de la borne inférieure			
Passagers	-13%	-13%	-13%
Émissions de CO <sub>2</sub>	-10%	-10%	-10%
Recette fiscale (MCHF)	948	1 274	2 088
Élasticités de la borne supérieure			
Passagers	-21%	-21%	-21%
Émissions de CO <sub>2</sub>	-16%	-16%	-16%
Recette fiscale (MCHF)	858	1 146	1 877

#### 5.4.2 BARÈME DE TAXATION SELON LA LOI SUR LE CO<sub>2</sub> AVEC CROISSANCE

Notre deuxième scénario de taxation se base sur les mêmes tarifs que le premier, celui de la loi sur le CO<sub>2</sub>, mais augmente ceux-ci chaque année de 4,71%, taux nécessaire pour maintenir les émissions de CO<sub>2</sub> à leur niveau de 2018 jusqu'en 2050 malgré la croissance du nombre de passagers partiellement compensée par une amélioration de l'efficacité énergétique de 1,5% par an.<sup>25</sup> Dans le scénario de référence sans taxe sur les billets d'avion, le nombre de passagers augmente de 2,5% par an. Ce taux de croissance est ramené à 1,9% la première année de mise en œuvre pour les élasticités inférieures et à 1,5% pour les élasticités supérieures. Au fil du temps, ces taux de croissance diminuent sous l'effet de l'augmentation des taxes sur les billets d'avion, pour atteindre respectivement 1% et 0,3% en 2050.

L'impact sur les prix, supposés constants, est considérable d'ici 2050 (voir Tableau 11). Néanmoins, l'augmentation des prix pour les vols premium reste assez faible. Si ce segment, qui contribue de manière disproportionnée aux émissions (section 5.2.3) et qui particulièrement inélastique, doit également réduire ses émissions, une structure tarifaire différente est nécessaire, par exemple celle du quatrième scénario.

Pour 2018, ce barème de taxation a le même impact que celui de la loi sur le CO<sub>2</sub>, mais plus la taxe sur les billets d'avion augmente, plus les effets se renforcent (Tableau 13). En 2050, le nombre de passagers est de 42 à 48% plus faible qu'en l'absence de taxe sur les billets d'avion, selon l'élasticité de la demande, mais toujours de 45 à 69% plus élevé qu'en 2018. L'effet sur les émissions de CO<sub>2</sub> est moindre, mais elles restent inférieures de 26 à 38% au niveau sans taxe.

**Tableau 13: effets du barème de taxation comme dans la loi sur le CO<sub>2</sub> avec croissance**

	2018	2030	2050
Élasticités de la borne inférieure			
Passagers	-13%	-20%	-37%
Émissions de CO <sub>2</sub>	-10%	-15%	-29%
Recette fiscale (MCHF)	948	2 023	6 451
Élasticités de la borne supérieure			
Passagers	-21%	-32%	-53%
Émissions de CO <sub>2</sub>	-16%	-25%	-43%
Recette fiscale (MCHF)	858	1 704	4 552

<sup>25</sup> Comme l'impact de la taxe sur les billets d'avion sur les émissions de CO<sub>2</sub> n'est pas le même pour les élasticités inférieure et supérieure, la condition d'émissions constantes est appliquée à la moyenne des émissions dans les deux scénarios d'élasticité.

### 5.4.3 BARÈME DE TAXATION ANALOGUE À CELUI DE LA UK DUTY

La taxe britannique sur les passagers aériens (Air Passenger Duty 2021) varie entre 13 et 180 GBP, ce qui signifie qu'elle est environ deux fois moins élevée que celle de la loi sur le CO<sub>2</sub> pour notre segment le plus important - les vols économiques court-courriers - mais environ deux fois plus élevée que celle de la loi sur le CO<sub>2</sub> pour les vols premium long-courriers (Tableau 10). Cela se reflète, bien entendu, dans les changements de prix induits, qui sont un peu plus importants mais encore assez modérés pour les vols premium long-courriers (Tableau 11).

Les résultats de cette simulation ne sont pas très différents de ceux du barème des taxes de la loi sur le CO<sub>2</sub> (Tableau 14). La différence réside dans le fait que l'impact négatif sur les émissions de CO<sub>2</sub> est plus proche de l'effet sur le nombre de passagers que dans le scénario 1, en raison d'une progression plus marquée des taxes du barème.

**Tableau 14: effets du barème de taxation selon la UK Duty**

	2018	2030	2050
	Élasticités de la borne inférieure		
Passagers	-9%	-9%	-9%
Émissions de CO <sub>2</sub>	-8%	-8%	-8%
Recette fiscale (MCHF)	844	1 135	1 859
	Élasticités de la borne supérieure		
Passagers	-15%	-15%	-15%
Émissions de CO <sub>2</sub>	-13%	-14%	-14%
Recette fiscale (MCHF)	785	1 049	1 718

### 5.4.4 BARÈME DE TAXATION SELON LA TAXE SUR LE CO<sub>2</sub>

Ce scénario de taxation revient à fixer le taux de la taxe sur les billets en fonction de l'impact climatique des vols. Il est inférieur au barème de la loi sur le CO<sub>2</sub> pour les vols court-courriers, mais ajoute une taxe plus importante aux vols long-courriers, notamment en premium et en particulier via les hubs (Tableau 11). Comme il s'agit des vols les plus gourmands en kérosène, ce barème de taxation permet de réduire davantage les émissions de CO<sub>2</sub> que le scénario 1, mais la différence n'est pas énorme (Tableau 15 par rapport au Tableau 12). Toutefois, comme la taxe sur le CO<sub>2</sub> devrait augmenter<sup>26</sup>, il en serait de même pour une taxe sur les billets d'avion transposant le même prix du carbone aux vols, ce qui implique que l'effet de ce barème sur les émissions pourrait devenir beaucoup plus important dans les années à venir.

---

<sup>26</sup> La loi sur le CO<sub>2</sub> de 2020 fixe le plafond à 210 CHF par tonne de CO<sub>2</sub>.



**Tableau 15: effets du barème de taxation basé sur la taxe sur le CO<sub>2</sub>**

	2018	2030	2050
Élasticité de la borne inférieure			
Passagers	-12%	-12%	-12%
Émissions de CO <sub>2</sub>	-10%	-10%	-10%
Recette fiscale (MCHF)	1 060	1 425	2 335
Élasticité de la borne supérieure			
Passagers	-19%	-19%	-19%
Émissions de CO <sub>2</sub>	-17%	-17%	-17%
Recette fiscale (MCHF)	969	1 291	2 115

Nous ne le montrons pas ici, mais des résultats très similaires peuvent être obtenus avec une taxe de 15% sur le prix des billets. Ce taux est une moyenne approximative des augmentations de prix résultant de la taxe sur les billets d'avion de la loi sur le CO<sub>2</sub> (Tableau 11).

#### 5.4.5 COMPARAISON DE TOUS LES SCÉNARIOS

Les principaux résultats de tous les barèmes de taxation pour 2023 sont comparés dans le Tableau 16, dans l'hypothèse où la taxe sur les billets d'avion est pleinement opérationnelle cette année-là et que le transport aérien retrouve sa tendance à la hausse d'avant 2020. Les élasticité supérieure post-COVID-19 sont employées pour ce faire. Comme précédemment, tous les chiffres représentent les écarts par rapport au scénario de base sans taxe sur les billets d'avion pour la même année.

**Tableau 16: comparaison des scénarios de taxation en 2023 (élasticité supérieure post-COVID-19)**

	Loi CO <sub>2</sub>	Loi CO <sub>2</sub> avec croissance	UK Duty	Taxe CO <sub>2</sub>
Passagers	-21%	-26%	-15%	-19%
Émissions de CO <sub>2</sub>	-16%	-19%	-14%	-17%
Recette fiscale (MCHF)	964	1 146	882	1 086

Il est intéressant de noter que, bien que nos quatre barèmes de taxation soient définis de manière très différente, ils finissent par affecter le transport aérien dans des proportions similaires. C'est le cas pour les premières années, mais lorsque la taxe sur les billets d'avion augmente dans les scénarios (2) et éventuellement (4), les résultats varient davantage. On peut également noter les différences dans les recettes de la taxe sur les billets d'avion, qui vont de 0,88 à 1,15 milliard de CHF. Ce dernier chiffre est d'ailleurs proche des recettes réelles de la taxe sur le CO<sub>2</sub> en 2020 (1,26 milliard de CHF des comptes de la Confédération). Il est inférieur aux 1,30 milliard de CHF de recettes de la

taxe sur les billets d'avion estimées par Sigrist et al. (2019), qui ont fait l'hypothèse d'une taxe de 120 CHF sur tous les vols long-courriers.

Dans l'ensemble, nos simulations laissent entendre que l'introduction d'une taxe sur les billets d'avion dans la fourchette de 30 à 120 CHF de la nouvelle loi sur le CO<sub>2</sub> pourrait réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 16% en 2023. Une telle diminution en 2019 aurait supposé une réduction de la part de l'aviation dans les émissions totales de réchauffement climatique de la Suisse (section 2.2) de 27 à 24%. Cette amélioration peut sembler minime, mais elle équivaut à 2,5 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Au rythme auquel les ventes de kérosène ont augmenté au cours des 10 années précédant 2020 (3,2% par an), ces économies d'émissions auraient été compensées par la croissance de la demande en six ans (mais après ces 6 années, elles seraient encore inférieures de 16% à ce qu'elles auraient été sans taxe sur les billets d'avion ou autre mesure). Au taux de croissance plus modéré sur lequel nous nous basons pour la phase post-COVID-19 (2,5%) et avec une amélioration continue de l'efficacité liée à la consommation de carburant (1,5% par an), il faudrait 18 ans pour que les émissions reviennent au niveau d'avant l'introduction de la taxe sur les billets d'avion.

Nos simulations montrent également qu'étant donné que les vols long-courriers sont responsables d'environ 60% des émissions, mais qu'ils ne représentent que 20% du nombre de passagers, l'impact sur les émissions pourrait être renforcé par un barème de taxation plus progressif, avec des taux supérieurs bien au-delà du plafond de 120 CHF, en particulier pour les vols premium. Une plus grande progressivité du barème de taxation permettrait de réduire davantage les émissions tout en réduisant de façon moins importante le nombre de passagers, et ce malgré les élasticités plus faibles dans le segment des vols long-courriers.

## 5.5 Effets distributifs de la taxe sur les billets d'avion

Nos simulations sont trop grossières pour permettre une quantification de l'impact distributif des différents scénarios de taxe sur les billets d'avion. Alors que la taxe sur les billets d'avion est indépendante du revenu des passagers, les passagers des vols long-courriers et des classes supérieures ont généralement des revenus plus élevés que ceux des vols court-courriers et des classes économiques. Par conséquent, les tarifs plus élevés pour ces vols par rapport aux classes court-courrier et économique pourraient suggérer une certaine progressivité de la taxe sur les billets d'avion proposée. Toutefois, le barème de taxation proposé, lorsqu'il est mesuré en taxe implicite par tonne de CO<sub>2</sub>, est assez favorable aux vols long-courriers, notamment en classe premium (Tableau 9).

La progressivité de l'effet global de la taxe dépendra également de l'utilisation des recettes fiscales : plus le poids de la redistribution forfaitaire à la population (via les primes d'assurance maladie) est important, plus l'effet direct de la politique sera redistributif. En fonction du barème de la taxe sur les billets et de l'élasticité de la demande, les recettes fiscales pourraient s'élever à environ 1 milliard de CHF (Tableau 12) – soit un peu moins que les recettes de l'actuelle taxe CO<sub>2</sub> sur les combustibles

de chauffage (1,26 milliard de CHF en 2019, d'après les comptes de la Confédération). La loi stipule que 51% des recettes générées par la taxe sur les billets d'avion doivent être redistribuées à la population et aux entreprises, soit environ 0,5 milliard de CHF. La part destinée à la population est égale à sa contribution estimée aux recettes totales. Dans notre modèle, 72% des recettes sont attribuables aux vols pour raisons personnelles et 28% aux vols pour raisons professionnelles. Si l'on retient cette répartition, environ 350 millions de CHF seraient redistribués à la population. Pour une population estimée à 8,8 millions d'habitants en 2023, cela représenterait 40 CHF par habitant. Ainsi, toute personne prenant plus d'un vol court-courrier en classe économique paierait plus de taxe sur les billets d'avion que le remboursement.

Sigrist et al. (2019) ont estimé les recettes fiscales à 1,3 milliard de CHF, dont ils ont tiré un remboursement de 60 CHF par habitant. Avec leur hypothèse d'une taxe sur les billets de 30 CHF pour les vols court-courriers et de 120 CHF pour les vols long-courriers, il est facile d'identifier les ménages qui paieraient plus que le remboursement, à savoir ceux qui entreprennent un vol long-courrier ou plus de deux vols court-courriers par an. Il s'agit généralement de ménages à revenu élevé.

Bosshardt et al. (2020) ont utilisé les données du microrecensement de 2015 pour estimer l'effet net sur les revenus des ménages d'une version simplifiée de la taxe sur les billets d'avion. Ils se sont basés sur une taxe de 30 CHF pour les vols court-courriers et de 120 CHF pour les vols long-courriers, quelle que soit la classe de voyage. En outre, il a été supposé que 51% des recettes étaient redistribuées à la population, y compris la part qui serait effectivement remboursée aux entreprises. Les auteurs ont constaté que 90% de la population obtiendrait un remboursement plus important (84 CHF) que ce qu'elle a payé (18 CHF par habitant en moyenne), grâce notamment aux contributions des passagers qui ne résident pas en Suisse, et qui n'ont donc pas droit au remboursement alors qu'ils paient la taxe sur les billets d'avion en quittant le pays. Les 10% ayant un solde négatif sont des voyageurs fréquents, que l'on retrouve dans toutes les classes de revenus. Néanmoins, comme la fréquence des vols augmente avec le revenu, le solde moyen par classe de revenu est positif et le plus élevé pour la classe de revenu la plus basse (environ 70 CHF) et diminue progressivement pour devenir légèrement inférieur à zéro dans la classe de revenu avec un revenu mensuel de 16 000 CHF et plus. Par rapport aux revenus, on constate donc une progressivité globale du remboursement net, mais de nombreux voyageurs fréquents avec des revenus faibles ou moyens peuvent bien sûr payer un solde net.

## 5.6 Limites des simulations

Nos simulations font abstraction des réactions du côté de l'offre, des effets sur le revenu, des pertes de poids mort induites par la fiscalité et des effets dynamiques et indirects. Elles doivent donc être considérées comme des approximations grossières et partielles plutôt que comme une évaluation complète.

En réalité, la courbe d'offre n'est pas parfaitement élastique, et la charge fiscale sera partagée entre les compagnies aériennes et les passagers, ce qui réduit l'impact de la taxe sur les billets d'avion (Figure 17). En effet, l'offre n'étant pas parfaitement élastique, la taxe n'est pas simplement ajoutée au prix initial ( $P_0 + t$ ), mais plutôt partagée entre les compagnies aériennes et les passagers, ce qui se traduit par un prix post-taxe  $P_1'$  plus faible qu'en cas de répercussion totale, comme nous l'avons supposé dans nos simulations, et par une diminution moins importante du nombre de voyages en avion. La détermination de la forme exacte de la courbe d'offre devrait être une priorité pour les études futures afin de mieux comprendre l'impact des taxes sur les billets d'avion sur le volume des voyages.

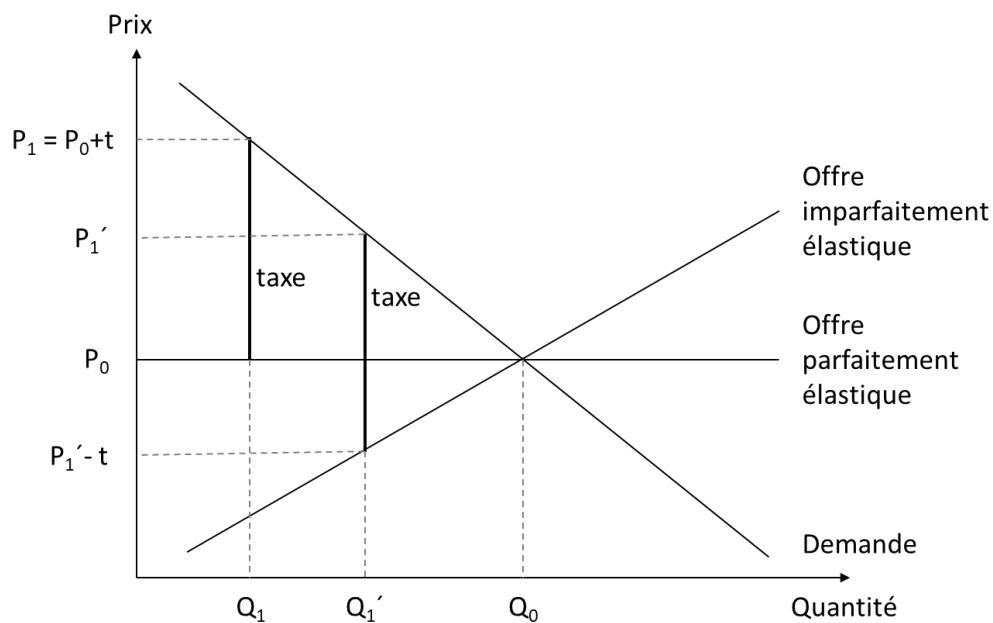


Figure 17: Répartition de la taxe sur les billets d'avion entre les compagnies aériennes et les passagers

## 5.7 Discussion de ces résultats

Une évaluation d'impact basée sur les élasticité de la demande de transport aérien montre un effet clair d'une taxe sur les billets d'avion sur la demande des passagers aériens. Il est toutefois possible que certains passagers commencent leur voyage à partir d'aéroports voisins afin d'éviter la taxe suisse sur les billets d'avion. Un nombre croissant de pays européens et tous les pays voisins de la Suisse ont déjà introduit une taxe sur les billets d'avion (Figure 18). Cependant, elles sont le plus souvent bien inférieures à la taxe suisse proposée de 30 à 120 CHF.

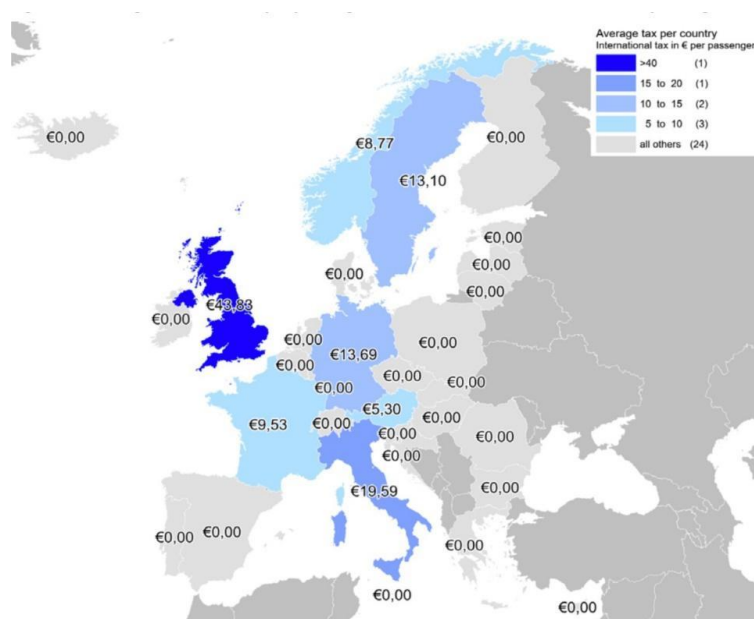


Figure 18: taxes aériennes moyennes par passager dans l'UE et l'AELE, pour les passagers internationaux (CE Delft, 2019).

Autre argument avancé par l'industrie du transport aérien contre les taxes sur les billets d'avion : ces dernières ont un impact négatif sur l'environnement, car elles limitent la capacité des compagnies aériennes à investir dans de nouvelles technologies aéronautiques. Cet effet est modéré lorsque les compagnies peuvent répercuter la taxe sur leurs clients, comme nous le supposons dans notre modèle, et lorsque la taxe sur les billets d'avion est diminuée pour les compagnies qui réduisent leur impact climatique, comme le prévoit la loi sur le CO<sub>2</sub>.

La taxe sur les billets d'avion pourrait réduire le taux de remplissage des avions, sans réduire le nombre de vols (IATA, 2019b), mais dans un marché concurrentiel, on s'attendrait à ce que les compagnies aériennes finissent par réduire leurs vols. En outre, de nombreuses compagnies aériennes pourraient tout simplement répercuter les coûts des taxes sur les billets d'avion sur les clients moins sensibles aux prix, comme les passagers de la classe premium, afin de limiter une réduction globale de la demande. Enfin, comme les passagers en transfert et en transit sont exonérés de taxes en vertu du projet de législation actuel, les compagnies aériennes suisses pourraient proposer des vols de correspondance bon marché vers leurs plateformes de correspondance en Suisse pour compenser la réduction de la demande locale de passagers.

L'utilisation des recettes de la taxe sur les billets d'avion est une autre question intéressante. Si la redistribution des recettes à la population est susceptible d'accroître l'acceptabilité sociale des taxes sur les billets d'avion, l'affectation des recettes à la subvention des trains de nuit ou des carburants synthétiques peut quant à elle contribuer à réduire plus efficacement les émissions de gaz à effet de serre.

# 6 Autres mesures visant à réduire l'impact de l'aviation sur le climat

## 6.1 Aperçu

Si ce livre blanc se concentre sur les effets directs d'une taxe sur les billets d'avion, il existe d'autres instruments politiques complémentaires. L'argent compte, mais il n'est évidemment pas le seul facteur de motivation du comportement humain. Les campagnes d'information, par exemple, ont joué un rôle majeur dans la lutte contre les effets néfastes du tabac. De même, l'information du public sur les effets de l'avion sur le réchauffement de la planète, combinée au message négatif qu'envoie la taxe sur les billets elle-même, pourrait potentiellement amplifier son impact. Des citoyens qui comprennent et acceptent l'objectif d'une réglementation ne rendent pas seulement cette dernière plus efficace, car il y a moins d'efforts pour la contourner : c'est aussi une condition pour que la réglementation soit soutenue dans une démocratie en premier lieu.

La mise en place d'alternatives attrayantes au transport aérien facilitera également l'adaptation des comportements de déplacement. L'existence de liaisons ferroviaires à grande vitesse sur de longues distances pourrait réduire l'écart de vitesse entre l'avion et le train. Les trains de nuit semblent présenter un potentiel particulier. Une augmentation générale du prix de l'avion, par exemple par le biais d'une taxe sur les billets d'avion, renforcerait la compétitivité des prix des modes de transport alternatifs, même sans subventions publiques supplémentaires, qui ont un effet négatif sur les budgets publics.

Enfin, l'innovation technologique dans le secteur de l'aviation doit se poursuivre. Outre le soutien public à la recherche et au développement dans ce secteur, il pourrait être utile d'envisager des règles relatives à la teneur minimale en carburants d'aviation « verts ».

Afin d'organiser ce tour d'horizon des mesures politiques mises à la disposition des autorités publiques souhaitant réduire l'impact climatique de l'aviation, nous nous référons aux décompositions des émissions de CO<sub>2</sub> du transport aérien de la section 2.7. Ces décompositions ont montré les leviers sur lesquels il était possible d'agir, tels que le nombre de passagers, les distances parcourues, les coefficients de remplissage, l'efficacité énergétique des avions ou encore l'impact climatique des carburants utilisés. La décomposition qui servira de référence pour structurer ce chapitre est la suivante :

$$\text{Emissions CO}_2 = (\text{passagers} \times \text{kilomètres}) \times \frac{\text{masse avion déplacée}}{\text{pkm}} \times \frac{\text{émissions CO}_2}{\text{masse avion déplacée}}$$

Le premier terme est le nombre total de kilomètres parcourus par avion au cours d'une période donnée. Il peut être réduit par une diminution de la demande en transport aérien (section 6.2) et/ou une diminution de l'offre de transport aérien (section 6.3).

Le deuxième terme est la masse d'aéronefs déplacée pour réaliser cette prestation de transport, en tonnes par pkm. La masse des avions est utilisée plutôt que le nombre d'avions, car elle est un déterminant plus direct de la consommation d'énergie. Deux avions remplis de 250 passagers chacun ne consomment pas deux fois plus d'énergie qu'un gros avion transportant ces mêmes 500 passagers. Ce rapport peut être réduit en augmentant le facteur de charge des avions (section 6.4). La gestion et l'exploitation de la flotte d'avions constituent la clé de ce déterminant de l'impact climatique de l'aviation.

Le dernier terme est la quantité moyenne d'émissions de CO<sub>2</sub> résultant du déplacement de la masse des avions. Il dépend de l'efficacité énergétique des avions et de la teneur en carbone des carburants utilisés par ces avions. Elle peut donc être réduite grâce à des avions plus économes en carburant et au remplacement des combustibles fossiles par des combustibles (presque) neutres sur le plan climatique (section 6.5). Selon les limites du système, les compensations carbone pourraient également être comptabilisées comme des réductions d'émissions. La technologie est la clé de ce déterminant de l'impact climatique de l'aviation.

Il existe de nombreuses mesures politiques qui permettraient d'actionner ces leviers. Elles seront réparties dans les cinq familles standard suivantes :

1. Les approches volontaires, c'est-à-dire les mesures conçues pour pousser (« nudge ») les acteurs vers les changements souhaités sans les punir d'une quelconque façon pour ne pas agir sur la poussée ou les mesures que les acteurs prennent pour réduire leur impact environnemental sans que cela leur soit directement profitable. Ces mesures sont également appelées « soft law ».
2. Les mesures réglementaires, c'est-à-dire les mesures qui imposent ou interdisent des actions spécifiques, en supposant que les mécanismes d'application sont suffisants pour obtenir effectivement le respect des règles. Ces mesures sont également appelées « command & control ».
3. Les mesures quantitatives, c'est-à-dire les mesures qui imposent l'application d'un plafond à une action indésirable telle que la pollution. Elles peuvent être flexibles dans le sens où les acteurs individuels peuvent échanger leur quantité autorisée (ou « quota »). Dans ce cas, elles deviennent des mesures de prix.
4. Les mesures tarifaires, c'est-à-dire les mesures qui rendent une option donnée relativement moins chère ou plus chère. Ces mesures sont également appelées instruments de marché.

5. D'autres mesures qui ne correspondent pas à cette caractérisation, par exemple la promotion d'alternatives aux options non souhaitées.<sup>27</sup> Ces mesures comprennent les instruments relatifs aux services et aux infrastructures, ainsi que les mesures liées à la responsabilité.

Ce chapitre aborde successivement les principaux leviers des émissions de CO<sub>2</sub> du transport aérien – la demande et l'offre (qui influent principalement sur le premier terme de l'équation de décomposition ci-dessus), la gestion de la charge des passagers (qui influe sur le deuxième terme) et la technologie (qui influe sur le troisième terme) – et montre comment chaque levier peut être actionné par des mesures politiques regroupées selon les cinq familles ci-dessus.

## 6.2 Réduire la demande de transport aérien

### 6.2.1 APPROCHES VOLONTAIRES

Utiliser des campagnes sociales pour rendre le vol moins acceptable socialement.

*Flygskam* est un néologisme signifiant « la honte de prendre l'avion » qui a gagné en popularité en Suède, pays de grands voyageurs, en 2019. On pense que le nombre de passagers locaux a diminué de 9% en 2019 en raison du débat sociétal autour de l'avion, tandis que le nombre de passagers internationaux a baissé de 2% (Swedavia, 2020). Ce mouvement s'est répandu en Europe occidentale et commence à influencer le comportement des consommateurs dans toute la région. Par exemple, les universitaires prennent moins l'avion.

Bien que le mouvement de la honte de l'avion se soit développé de manière organique jusqu'à présent, nous pensons qu'il existe des arguments en faveur de la mise en place d'une campagne sponsorisée par le gouvernement suisse visant à sensibiliser le public aux impacts négatifs de l'avion sur l'environnement. Cela pourrait contribuer à réduire directement la croissance de la demande de transport aérien. Plus important encore, elle permettrait de soutenir d'autres mesures visant à faire baisser la demande en transport aérien (comme une taxe sur les billets d'avion) ou à réduire l'offre (comme l'interdiction des vols court-courriers). Cela serait particulièrement judicieux pour les départs à titre privé, qui représentent la majorité des voyages aériens au départ des aéroports suisses. 63% des passagers aériens au départ de l'aéroport de Zurich ont indiqué que le « loisir » était le principal motif de leur voyage en 2019, tandis que 26% ont indiqué « affaires » et 11% un autre motif (Aéroport de Zurich, 2020).

Une campagne visant à persuader les consommateurs de prendre le train plutôt que l'avion sur les trajets court-courriers où le réseau de lignes ferroviaires est bien développé pourrait être un bon

---

<sup>27</sup> Une taxe sur les billets d'avion rend les voyages en avion plus chers par rapport aux autres solutions ; il s'agit donc d'une mesure classique des prix. Une subvention pour les trains à grande vitesse rend également le transport aérien sur les lignes desservies par ces trains plus cher par rapport à l'alternative, mais n'étant généralement pas considérée comme une mesure de prix (directe), elle sera abordée dans la section « Autres mesures ».



point de départ. Elle bénéficierait probablement d'un soutien populaire et pourrait être suivie en temps voulu de campagnes destinées à réduire les voyages aériens long-courriers.

### 6.2.2 MESURES RÉGLEMENTAIRES

#### Imposer des contraintes sur la publicité

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) appelle à une interdiction totale de la publicité, de la promotion et du parrainage directs et indirects pour les produits du tabac, arguant qu'une telle interdiction « peut réduire considérablement la consommation de tabac et protéger les gens des tactiques de marketing de l'industrie » (OMS, 2020). Cela montre qu'il n'est plus possible d'argumenter en faveur de la publicité en la décrivant comme un simple moyen d'informer les consommateurs ou en affirmant que son rôle consiste uniquement à faire passer ces derniers d'une marque à une autre. Elle peut, au contraire, les pousser à essayer un produit ou à en augmenter leur consommation.

Sans aller jusqu'à l'interdiction pure et simple de la publicité, on pourrait exiger que les campagnes pour les voyages aériens comportent un avertissement sur l'impact de ces voyages sur le changement climatique. Les plateformes de réservation pourraient ainsi être contraintes d'afficher une évaluation de l'impact climatique complet (avec un facteur RFI de 3) des voyages annoncés. Pour une meilleure compréhension, l'impact climatique pourrait être mis en perspective avec les émissions moyennes des citoyens suisses et le niveau d'émission maximal par habitant compatible avec les objectifs climatiques nationaux.

### 6.2.3 MESURES DE LA QUANTITÉ

#### Instaurer des quotas de vols individuels

La mesure la plus simple et la plus directe pour réduire la demande de transport aérien serait de la restreindre quantitativement au niveau global et de répartir cette quantité sous la forme de quotas individuels de transport aérien. Il pourrait s'agir, mais pas nécessairement, de quotas égaux par habitant. Les entreprises pourraient également bénéficier de quotas en fonction de leur taille et de leurs activités internationales.

L'un des inconvénients des quotas uniformes fixes est que certaines personnes peuvent avoir de bonnes raisons de prendre fréquemment l'avion, pensons aux artistes ou aux athlètes de haut niveau, ainsi qu'aux personnes dont des membres de la famille vivent à l'étranger. Les premiers devraient quitter la Suisse si des quotas stricts les empêchaient de faire valoir leur talent sur la scène internationale.

L'application de limites supérieures strictes à l'aviation au niveau individuel – généralement par le biais d'une loi qui fixe un nombre maximal de vols, de kilomètres parcourus ou d'émissions de gaz à effet de serre générées, par exemple – impose à la société des réductions inutiles du bien-être. En

effet, globalement, le même résultat environnemental pourrait être obtenu en laissant les gens décider s'ils préfèrent voler ou en vendant ce droit sur un marché dédié.<sup>28</sup>

Pour tenir compte des différences liées à l'envie et au besoin de voyager, les quotas devraient donc être rendus échangeables (Thalmann, 2019). Au début de l'année, chaque citoyen recevrait un quota qui lui permettrait de voyager en avion sur une distance prédéfinie par an. Les citoyens qui souhaitent voyager plus que leur quota pourraient acheter une partie du quota d'autres citoyens qui volent moins que leur propre quota ne le permet. Les quotas pourraient également être économisés sur plusieurs années et utilisés pour une occasion spéciale, par exemple un voyage de noces autour du monde. Chaque année, les quotas de vol individuels seraient réduits selon les besoins, en conjonction avec d'autres mesures, pour atteindre les objectifs d'émissions. Il convient toutefois de noter que la corrélation entre la distance parcourue et les émissions ne serait pas parfaite, car les vols court-courriers émettent davantage par pkm que les vols long-courriers, étant donné l'importance relativement plus grande du décollage pour la consommation de carburant.

Ce mécanisme de type SCEQE permettrait de réduire la demande de transport aérien de manière très efficace. En outre, il récompenserait les citoyens qui prennent peu ou pas du tout l'avion. Parmi ses autres avantages, citons la nature progressive d'un tel système, puisque les personnes qui ont tendance à prendre l'avion plus souvent ont généralement un revenu élevé et qu'elles compenseront les personnes qui prennent l'avion moins souvent et ont un revenu plus faible. En Suisse, les ménages à hauts revenus volent 5,7 fois plus que les ménages à faibles revenus (Figure 7). En outre, contrairement aux formes de taxation examinées ci-dessous, le montant des émissions est clairement déterminé à l'avance par le montant total des quotas, ce qui le rend indépendant d'une éventuelle baisse des prix du kérosène et d'autres facteurs économiques qui pourraient atténuer l'effet d'une taxe.

Le principal inconvénient de cette mesure est la relative difficulté de sa mise en œuvre (suivi des vols, y compris depuis les aéroports étrangers, tenue de comptes de quotas, etc.), et la question ouverte de savoir si et comment la population s'engagerait dans les échanges. Si seuls les vols au départ des aéroports suisses étaient inclus dans le quota, celui-ci ne couvrirait qu'une partie des voyages aériens des résidents suisses. En outre, il serait relativement facile pour eux d'échapper à ces quotas en se rendant par voie terrestre à un aéroport voisin dans un autre pays et en prenant un vol à partir de là.

---

<sup>28</sup> Prenons l'exemple simple d'un pays de 10 habitants, où une limite supérieure juridiquement contraignante pour les vols est fixée à 1 000 km par an. Supposons que trois citoyens n'aient pas prendre l'avion, que quatre citoyens parcourent exactement 1 000 km mais sont indifférents entre l'avion et le train et que trois citoyens ont un fort désir de parcourir 2 000 km en avion pour rendre visite à leur famille plus souvent (pas de connexions en train). Avec cette loi, la population parcourrait 7 000 km en avion, soit moins que le maximum global de 10 000 km. Supposons maintenant qu'au lieu d'une loi, un système de plafonnement et d'échange soit mis en place. Afin d'obtenir le même résultat environnemental, des quotas individuels de 700 km sont distribués. À l'heure actuelle, il est possible pour le dernier groupe de citoyens d'acheter les droits du premier groupe (et peut-être même du deuxième) à voir leurs familles, tout en améliorant la situation (financière) de l'autre groupe.

Aucun pays n'a mis en œuvre de quotas de vols individuels jusqu'à présent. En novembre 2016, la Norvège a envisagé de limiter les citoyens norvégiens à dix vols par an, mais cela n'a pas été mis en œuvre. En Suisse, Roger Nordmann, membre du Parlement fédéral, a proposé lors d'une table ronde<sup>29</sup> des quotas de vols individuels, ce qui a provoqué quelques remous dans les médias, mais n'a pas suscité un grand soutien.

#### 6.2.4 MESURES DE PRIX

##### Imposer une taxe sur les voyageurs fréquents

Une taxe sur les grands voyageurs, qui augmenterait progressivement pour chaque vol supplémentaire au cours de la même année (Figure 19), pourrait réduire les émissions de manière plus équitable qu'une taxe uniforme sur les billets d'avion, car un petit nombre de citoyens est responsable d'un nombre disproportionné de voyages en avion. En Suisse, les 5% de voyageurs les plus fréquents sont responsables d'environ un tiers des émissions totales de CO<sub>2</sub> de l'aviation (Bosshardt et al., 2020). De même, au Royaume-Uni, 15% de la population représentent 70% des vols (UK Department for Transport, 2014). Par conséquent, taxer les grands voyageurs de manière disproportionnée pourrait être plus équitable et recueillir le soutien du public. Idéalement, une taxe sur les grands voyageurs devrait être ajustée en fonction de la longueur du vol (ou pourrait même être structurée en fonction de la distance totale parcourue ou des émissions plutôt que du nombre de vols), car un vol intercontinental supplémentaire générerait beaucoup plus d'émissions qu'un vol court-courrier supplémentaire. C'est le concept de la taxe progressive sur les miles aériens.

Comme pour toute taxe sur les billets, il serait relativement facile pour les résidents suisses d'échapper à cette taxe en se rendant par voie terrestre à un aéroport voisin dans un autre pays et en prenant un vol à partir de là. En outre, la mise en œuvre d'un tel barème fiscal serait administrativement coûteuse, comme c'est le cas pour les quotas de vols individuels. Jusqu'à présent, aucun pays n'a mis en œuvre une taxe sur les grands voyageurs, probablement en raison de difficultés pratiques de ce type.

---

<sup>29</sup> Fondation suisse de l'énergie (SES), congrès sur l'abandon progressif des énergies fossiles, 30 septembre 2019. « NZZ am Sonntag » a qualifié la proposition de Roger Nordmann de « Tabubruch », la rupture d'un tabou (05.10.2019).

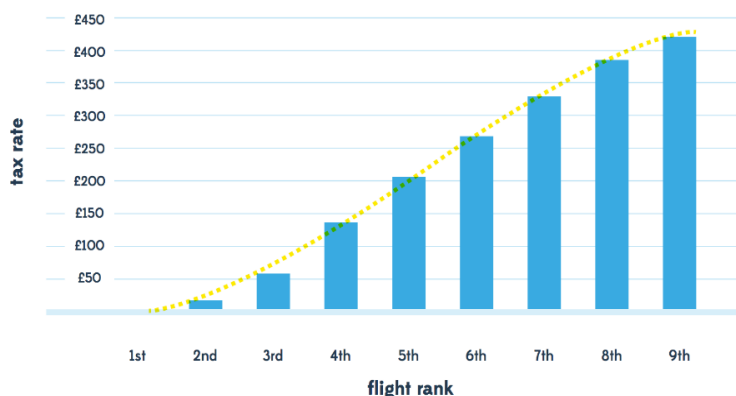


Figure 19: barème d'une éventuelle taxe sur les grands voyageurs au Royaume-Uni (New Economics Foundation, 2015).

## 6.2.5 AUTRES MESURES

### Améliorer la compétitivité du rail pour les déplacements à courte distance

Les trains à grande vitesse et les trains de nuit sont des substituts possibles aux vols court-courriers en Europe. Si le train à grande vitesse de jour est le mieux adapté aux distances allant jusqu'à 1000 kilomètres, les trains de nuit peuvent couvrir des distances allant jusqu'à 2 000 kilomètres. Bien qu'il existe un bon potentiel pour encourager la substitution de l'avion au train à grande vitesse pour les distances allant jusqu'à 1 000 kilomètres, les trains de nuit à très longue distance se heurtent encore à des défis réglementaires en Europe pour leur mise en œuvre, tels que des redevances d'accès aux voies disproportionnées (DB International, 2013).

Des investissements considérables dans les réseaux de trains à grande vitesse en France, en Espagne et en Allemagne ont entraîné des réductions importantes de la demande de transport aérien sur les destinations couvertes. La liaison Paris-Strasbourg a connu une baisse de la demande de transport aérien de plus de 80%, la liaison Paris-Londres de près de 60% et la liaison Madrid-Barcelone de plus de 20% (Figure 20).

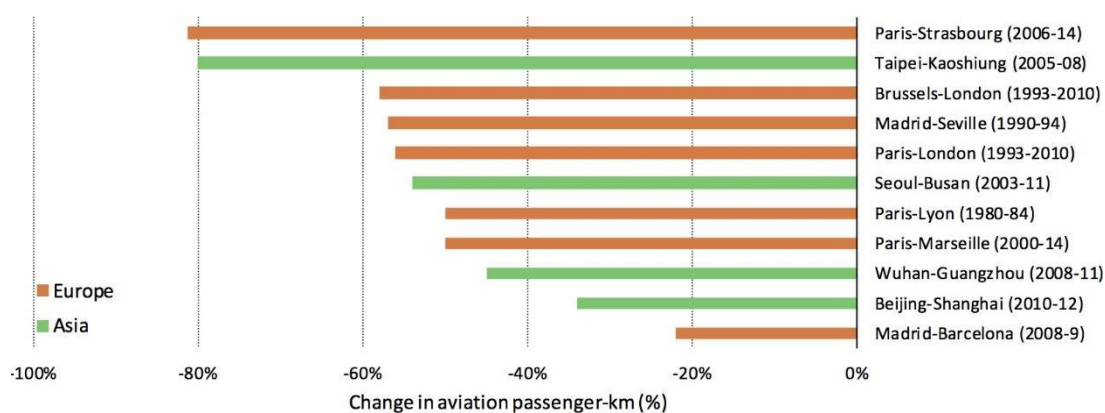


Figure 20: variation moyenne de l'activité des passagers sur certaines liaisons aériennes après la mise en œuvre du train à grande vitesse (AIE, 2019c).

On peut en déduire que lorsqu'il existe des alternatives rapides, pratiques et abordables au train à grande vitesse, les consommateurs sont susceptibles de passer de l'avion au train, car ce dernier présente des avantages tels que l'emplacement plus central des gares par rapport aux aéroports, ainsi que la commodité d'un embarquement plus rapide et d'un plus grand espace à bord. Les pouvoirs publics peuvent faciliter cette évolution en veillant à ce que les horaires des trains sur les lignes ferroviaires à grande vitesse existantes soient pratiques et à ce que la capacité soit suffisante pour accueillir les passagers souhaitant passer de l'avion au train. Cela peut nécessiter des subventions ciblées ou des réductions d'impôts et de taxes pour permettre aux exploitants ferroviaires d'augmenter la fréquence des services sur certaines lignes. Le gouvernement peut également souhaiter soutenir les investissements dans de nouvelles alternatives ferroviaires à grande vitesse lorsqu'il existe un bon potentiel d'attraction des voyageurs aériens.

La disponibilité des services de trains de nuit en Europe a considérablement diminué au cours de la dernière décennie, principalement en raison de la concurrence intense des compagnies aériennes à bas prix, qui ont proposé des services plus rapides, moins chers et plus confortables. Des recherches menées pour le Parlement européen en 2017 laissent penser que cela continuera d'être le cas (Directorate-General for Internal Policies, 2017). Bien qu'il semble que certains voyageurs de loisirs soucieux de l'environnement sont prêts à utiliser les trains de nuit même s'ils sont moins pratiques et plus chers que les voyages en avion (Kantelaar, 2019), il est peu probable que cela suffise à rendre les trains de nuit en Europe compétitifs et viables. Les services de trains de nuit qui ont continué à fonctionner (comme le réseau autrichien OBB Nightjet) bénéficient du fait que de nombreuses villes qu'ils desservent ont des liaisons aériennes peu fréquentes ou peu pratiques. Un autre facteur qui affecte la viabilité des trains de passagers de nuit est la priorité plus élevée dont bénéficient généralement les trains de marchandises sur les infrastructures ferroviaires pendant la nuit (DB International, 2013), ce qui affecte la vitesse et la qualité des services de passagers. Enfin, pour que voyager en train contribue à améliorer de façon certaine le climat, l'énergie utilisée doit provenir de sources d'énergies renouvelable.

Le gouvernement pourrait également subventionner le rail pour réduire les tarifs, rendant ainsi le rail plus attrayant que l'avion. Bien que les voyages en soi ne doivent pas être subventionnés dans une économie de marché, des subventions compensatoires pour des alternatives « propres » peuvent être justifiées lorsque l'alternative « polluante » ne peut pas couvrir tous ses coûts externes, en vue d'égaliser les conditions de concurrence.

### 6.3 Réduire l'offre de transport aérien

Le nombre de voyageurs aériens et les distances qu'ils parcourent ne dépendent pas uniquement de la demande, mais aussi de l'offre. Les mesures politiques visant à rendre l'ensemble prix-service proposé par les compagnies aériennes moins attrayant peuvent également contribuer à réduire le nombre de passagers-kilomètres parcourus en avion.

### 6.3.1 APPROCHES VOLONTAIRES

Les compagnies aériennes et les aéroports peuvent réduire leur capacité pour diverses raisons. KLM a revendiqué sa responsabilité environnementale lorsqu'elle a annoncé, en octobre 2019, son projet de remplacer un vol de correspondance quotidien entre Bruxelles et Schiphol par des sièges réservés à bord d'un train à grande vitesse Thalys reliant les deux destinations (KLM Newsroom, 2019). Elle a toutefois reconnu que cela libérerait également un créneau à Schiphol que la compagnie pourrait utiliser de manière plus rentable avec un vol long-courrier.

### 6.3.2 MESURES RÉGLEMENTAIRES

#### limiter ou interdire les vols court-courriers sur les liaisons pour lesquelles il existe des alternatives convenables.

Comme indiqué dans la section 6.2.5, les services ferroviaires supplantent généralement le transport aérien sur les liaisons où ils sont compétitifs en termes de vitesse, de commodité et de prix. Le prix est un problème, le rail étant souvent plus cher que l'avion. Plutôt que de corriger cette situation en subventionnant le rail et en taxant le transport aérien, on pourrait envisager de limiter ou d'interdire toute offre sur les liaisons pour lesquelles il existe de bonnes alternatives terrestres. Cette idée semble bénéficier d'un certain soutien populaire. Une enquête menée dans toute l'Union européenne par la Banque européenne d'investissement en octobre 2019 a révélé que 62% des personnes interrogées étaient favorables à une interdiction des vols court-courriers. Notons toutefois qu'en cas d'écart de prix important entre le transport aérien et le transport de surface, une interdiction serait impopulaire auprès des voyageurs.

Plusieurs pays européens ont envisagé cette possibilité, bien qu'aucun n'ait encore instauré d'interdiction à ce jour. En France, l'Assemblée nationale a voté le 10 avril 2021 l'interdiction des vols intérieurs qui pourraient être remplacés par un trajet en train de moins de deux heures et demie. La mesure doit être approuvée par le Sénat avant d'avoir force de loi. Elle avait déjà été incluse comme condition au renflouement d'Air France par le gouvernement en avril 2020. Il faut noter que cette interdiction ne concerne qu'une très faible part des lignes intérieures en France (probablement cinq).<sup>30</sup> En janvier 2020, la maire de Barcelone a déclaré qu'elle demanderait à l'aéroport de mettre fin à tous les vols à destination des villes espagnoles desservies par le train à grande vitesse.

---

<sup>30</sup> La Convention citoyenne pour le climat avait demandé l'interdiction de tous les trajets qui pouvaient être remplacés par un trajet en train de moins de 4 heures.

### 6.3.3 MESURES DE LA QUANTITÉ

#### Limiter la capacité des aéroports en plafonnant l'attribution des créneaux horaires

Une autre mesure pour limiter la croissance du trafic aérien serait de ne pas agrandir davantage les aéroports suisses. Cette mesure serait analogue au cas de l'aéroport d'Heathrow, où un arrêt de la Cour d'appel britannique, en février 2020, a stoppé la construction prévue d'une troisième piste en raison de son impact sur les émissions de carbone.

Outre un moratoire sur l'extension des pistes et des terminaux passagers, le mécanisme d'attribution des créneaux horaires pourrait être revu. Le nombre de créneaux disponibles pourrait être mis aux enchères et réduit progressivement. Actuellement, les créneaux horaires des aéroports suisses sont attribués gratuitement selon la règle « On s'en sert ou on le perd ». Cette règle peut inciter de façon perverse à effectuer des vols même avec un faible taux d'occupation afin de ne pas perdre le créneau. Les recettes des ventes aux enchères pourraient être versées au nouveau fonds pour le climat, qui serait utilisé aux fins de projets de compensation des émissions de CO<sub>2</sub> ou de promotion des carburants synthétiques.

Cependant, des créneaux horaires fortement restreints pourraient inciter les compagnies aériennes à utiliser des avions ayant une plus grande capacité de transport de passagers, ce qui ne réduirait guère les émissions absolues. Par exemple, à l'aéroport de Genève, qui ne possède qu'une seule piste, le nombre de mouvements d'avions de ligne et d'avions charters a augmenté de 16%, passant de 124 040 en 2009 à 143 970 en 2019 (Genève Aéroport, 2020). Sur la même période, le nombre de passagers a augmenté de 59%, passant de 11,2 millions à 17,8 millions. Ceci est le résultat du déploiement d'avions plus grands, permettant au nombre moyen de passagers par mouvement d'avion d'augmenter de 91 en 2009 à 124 en 2019.

L'aéroport de Genève s'attend à ce que le nombre de passagers passe à 25 millions en 2030 et a entamé la construction d'une Aile Est pour faire face à une telle expansion. Il envisage également de remplacer son terminal principal par un terminal beaucoup plus grand au cours de la prochaine décennie pour faire face à une nouvelle augmentation du nombre de passagers. Pour éviter le rebond des émissions lorsque les compagnies aériennes commencent à utiliser de plus gros avions, les mécanismes d'attribution des créneaux horaires pourraient être couplés à des exigences minimales spécifiques en matière de rendement énergétique pour les types d'avions éligibles. Les types d'avions électriques, hybrides-électriques ou à faible émission de carbone pourraient bénéficier d'un traitement préférentiel.

#### 6.3.4 MESURES DE PRIX

##### Étendre la TVA au transport aérien international

Comme pour tout mode de transport, la taxe sur la valeur ajoutée (TVA) est prélevée sur les vols intérieurs. Les vols à destination de l'étranger sont exonérés, ainsi que les biens et services vendus à des compagnies qui opèrent majoritairement des vols internationaux. L'argument qui sous-tend cette exonération est le même que pour tout bien ou service : son consommateur doit supporter la TVA de son lieu de consommation. En corollaire, la TVA est perçue sur les biens et services importés. En revanche, cette méthode ne s'applique pas aux vols entrants.

Le transport aérien international est entièrement exonéré de TVA en Europe. La Commission européenne a envisagé à plusieurs reprises de modifier cette situation, notamment parce que le transport ferroviaire international est soumis à la TVA, ce qui fausse le marché en faveur de l'aviation. Dans le cas du transport terrestre, le taux de TVA applicable localement est appliqué à chaque segment du trajet international, une solution compliquée qui ne serait guère applicable au transport aérien. D'où la proposition de prélever la TVA locale sur l'ensemble du prix du billet au point de départ. Étant donné que le taux de TVA suisse est nettement inférieur aux taux en vigueur dans les pays européens, il favoriserait les aéroports suisses si ce régime devait être adopté dans toute l'Europe.

##### Instaurer une taxe sur le carburant des compagnies aériennes

Une taxe sur tous les carburants d'aviation serait une mesure particulièrement efficace et efficiente pour réduire les émissions. Une analyse du FÖS en Allemagne a montré que l'exonération de la taxe sur le kérosène était la subvention la plus dommageable pour le climat (FÖS, 2020). Une taxe sur le carburant serait facile à adopter pour tous les types d'aviation (fret, passagers et privée). Elle inciterait fortement les compagnies aériennes à améliorer leur efficacité énergétique, car les coûts de carburant représentent généralement 20 à 25% des coûts d'exploitation totaux d'une compagnie aérienne, sans l'effet de rebond que les améliorations d'efficacité antérieures ont induit.<sup>31</sup> Une taxe sur le carburant augmenterait la compétitivité d'alternatives telles que le transport ferroviaire. Si la taxe était liée à la teneur en carbone des carburateurs, elle deviendrait une taxe sur le carbone.

---

<sup>31</sup> Un effet de rebond direct se produit lorsque la réduction du coût d'utilisation d'un équipement ou d'un véhicule plus économe en carburant entraîne une augmentation de son utilisation, ce qui compense une partie des économies d'énergie et de la réduction des émissions potentielles. Miyoshi et Fukui (2018), par exemple, ont estimé un effet de rebond direct à long terme de 19% pour les compagnies aériennes européennes sur la période 2000-2013. La baisse du coût du carburant libère également des revenus, que les utilisateurs de l'équipement ou du véhicule vont diriger vers d'autres dépenses, en utilisant potentiellement plus d'énergie et en provoquant plus d'émissions. Il s'agit de l'effet de rebond indirect, qui s'ajoute à l'effet direct et peut, dans le pire des cas, faire plus que contrebalancer les économies potentielles d'énergie ou d'émissions.



Pour les vols intérieurs, une taxe sur les carburants existe déjà en Suisse. L'impôt sur les huiles minérales est prélevé sur les carburants à raison de 0,74 CHF par litre de kérosène d'aviation et de 0,70 CHF par litre d'essence d'aviation (AFD, 2020).

Les vols internationaux sont exemptés de la taxe sur les huiles minérales en référence à la Convention relative à l'aviation civile internationale. Cet accord, également connu sous le nom de Convention de Chicago, a été établi en 1944 dans le but de promouvoir l'aviation internationale. Dans une réponse du gouvernement suisse aux demandes des membres du Conseil national d'introduire une taxe sur le carburant d'aviation, la Convention de Chicago et les principes politiques adoptés par le Conseil de l'OACI sont mentionnés comme les principales raisons du maintien de l'exemption de la taxe sur le carburant (Schneider Schüttel, 2019). Cette interprétation fait toutefois l'objet de débats juridiques. Selon l'ONG environnementale européenne Transport & Environment, « penser que la Convention de Chicago interdit la taxation du carburant d'aviation est une idée fautive ; elle interdit de taxer le carburant déjà à bord d'un avion à l'arrivée seulement, mais elle ne dit rien sur la taxation du carburant pris à bord avant le départ » (Transport & Environment, 2019, notre trad.) L'ONG fait valoir que ce sont plutôt les accords intergouvernementaux sur les services aériens qui interdisent la taxation du kérosène, et non la Convention de Chicago. Si l'on s'en tient à cette interprétation, les pays pourraient commencer à taxer le carburant d'aviation de manière bilatérale. Par conséquent, la Suisse pourrait chercher des partenaires internationaux pour coopérer et établir une « coalition de volontaires » afin d'introduire une taxe sur le carburant d'aviation.

Si la Suisse agissait unilatéralement, les compagnies aériennes choisiraient, du moins en partie, de faire le plein dans les aéroports étrangers chaque fois que cela est possible pour les vols internationaux. Dans ce cas, l'incitation serait perdue et l'augmentation du poids des avions entraînerait même une légère hausse des émissions. Il s'agit clairement d'une autre mesure qui serait beaucoup plus efficace si elle était mise en œuvre de manière coordonnée par de nombreux pays.

## 6.4 Améliorer les coefficients de remplissage

Les émissions par passager seraient plus faibles si moins d'avions étaient utilisés pour transporter un nombre donné de passagers, c'est-à-dire si le coefficient de remplissage moyen était plus élevé. Bien entendu, il ne s'agit pas d'attirer davantage de passagers pour remplir les avions, mais plutôt de mieux regrouper les passagers dans les vols et d'adapter la configuration des sièges des avions pour en accueillir davantage.

### 6.4.1 MESURES RÉGLEMENTAIRES

#### Interdire la classe affaires et la première classe

Dans nos simulations, l'empreinte carbone d'un passager en classe affaires est 1,5 fois celle d'un passager en classe économique sur les vols court-courriers, et pour les vols long-courriers, nous

supposons un facteur de 3,06, moyenne des classes affaires et première. Selon un rapport de la Banque mondiale, l'empreinte carbone des passagers de la classe affaires et de la première classe pourrait même être respectivement trois fois et neuf fois supérieure à celle des passagers de classe économique (Bofinger et Strand, 2013). Dans tous les cas, l'interdiction des classes premium réduirait l'empreinte carbone par passager de ces vols.

Dans la pratique, cependant, cela risque d'être très difficile à mettre en œuvre. Ces sièges sont particulièrement rentables pour les compagnies aériennes. En outre, la grande majorité du trafic passagers au départ de Genève et de Zurich est destinée à des destinations internationales. Par exemple, les vols à destination de Zurich représentent moins de 4% du trafic total de passagers au départ de Genève. Pour être en mesure d'appliquer une interdiction, le gouvernement suisse devrait obtenir l'accord de l'Union européenne. Cette option n'a été ni discutée ni proposée par aucun gouvernement de l'UE, la rendant ainsi très peu probable à court ou moyen terme.

#### Autoriser les « sièges debout » sur les vols court-courriers

Les sièges debout font l'actualité depuis quelque temps déjà. En 2010, un fabricant italien de sièges, Aviointeriors, a présenté un modèle et Michael O'Leary, PDG de Ryanair, a annoncé que la compagnie envisageait de les introduire sur ses vols. Cependant, le design n'a pas été approuvé par l'administration fédérale américaine de l'aviation. En 2018, Aviointeriors a proposé un nouveau design mais a fait face à un manque d'intérêt de la part des compagnies aériennes. Compte tenu du manque d'opportunités de marché et des difficultés à faire approuver l'utilisation d'un siège debout, il est peu probable que cela devienne une réalité à court ou moyen terme.

#### Imposer des amendes progressives en cas de faible utilisation des capacités

Les coefficients de remplissage ont augmenté dans le monde entier, passant de 75% en 2005 à 82% en 2019 (IATA). Les compagnies aériennes sont évidemment intéressées par l'augmentation des coefficients d'occupation. Nous pouvons raisonnablement croire qu'elles optimisent dans le cadre de leurs propres paramètres politiques. Néanmoins, l'imposition de frais progressifs sur les coefficients de remplissage pourrait inciter davantage les compagnies aériennes à adopter des politiques qui amélioreraient ces coefficients.

Actuellement, par exemple, les compagnies aériennes évitent de transférer des passagers vers une autre compagnie aérienne. Si elles étaient suffisamment incitées, les compagnies aériennes augmenteraient et élargiraient leurs accords de transfert de passagers avec d'autres compagnies aériennes desservant le même itinéraire.

## 6.5 Réduire l'impact des avions sur le réchauffement climatique

L'impact sur le réchauffement climatique d'un nombre donné de mouvements d'avions peut être réduit lorsque i) les avions utilisent moins d'énergie, et ii) qu'ils utilisent une énergie dont l'impact

sur le climat est moindre. La première option consiste à augmenter l'efficacité énergétique des avions. C'est ce qui a été fait (cf. section 2.5), mais pas dans une mesure suffisante pour compenser l'augmentation des trajets en avion. Une partie de cette augmentation est en fait due aux économies de coûts obtenues grâce aux gains d'efficacité énergétique (effet de rebond, voir section 6.3.4). Par conséquent, l'accent sera mis ici sur la deuxième option, à savoir les vecteurs énergétiques ayant un impact climatique moindre – du « puits » au moteur – que le kérosène standard.<sup>32</sup>

Un obstacle important à cet égard est que, jusqu'à présent, les moteurs à réaction et l'infrastructure de l'aviation ont été développés sur la base d'un carburant à base de pétrole, ce qui entraîne un verrouillage technologique. Qui plus est, en plus d'être un moyen de stocker de l'énergie, le kérosène conventionnel possède un certain nombre de propriétés physiques strictement réglementées pour des raisons de sécurité et ne pouvant pas toujours être facilement reproduites (Hileman et Stratton, 2014). Surmonter cette barrière serait d'un coût prohibitif et prendrait beaucoup de temps, même si une telle technologie propre était facilement disponible (ce qui n'est pas le cas actuellement).<sup>33</sup> Par conséquent, seuls les carburants « drop-in » représentent une voie de décarbonisation réaliste pour l'aviation à moyen terme. Ces carburants sont définis comme étant entièrement compatibles avec les avions, les infrastructures et les réseaux de distribution de carburant actuels. Malgré cet obstacle, nous examinons également si les avions électriques constituent une solution potentielle à long terme.

Les principaux vecteurs énergétiques à faible émission de carbone que nous allons examiner sont les suivants :

1. Les agrocarburants « Drop-in » :<sup>34</sup> carburants basés sur des produits ou des déchets de l'agriculture ou de la sylviculture.
2. Carburants synthétiques « Drop-in » : carburants fabriqués à partir d'électricité, d'eau et de dioxyde de carbone.
3. De l'électricité renouvelable pour les aéronefs électriques

---

<sup>32</sup> Les deux options ne sont pas interdépendantes. Les carburants alternatifs peuvent impliquer que davantage d'énergie primaire est utilisée pour le même service de transport.

<sup>33</sup> En 2018, la flotte commerciale mondiale comptait 23 100 appareils qui, selon une estimation inférieure de 80 millions de USD par pièce, soit le prix moyen de l'avion de ligne le moins cher d'Airbus - en comparaison, un A380 coûte 445 millions de USD (Airbus, 2018) - et avec un taux de livraison de 1 600 appareils par an (Boeing, 2019), nécessiteraient un investissement à la hausse de 1,8 milliard de USD et plus de 14 ans pour être remplacés, sans tenir compte des coûts d'infrastructure et des questions de sécurité. Il convient de noter que si la flotte mondiale est appelée à croître considérablement, le taux de livraison a également augmenté au fil des ans ; cet ordre de grandeur devrait donc être représentatif, quelle que soit l'année de référence. En outre, bien que les prix officiels ne soient pas nécessairement représentatifs des transactions réelles entre les compagnies aériennes et les fabricants, qui reposent en grande partie sur des contrats de location, le chiffre reste informatif.

<sup>34</sup> Les agrocarburants sont encore fréquemment appelés « biocarburants » pour suggérer qu'ils sont plus naturels et durables qu'ils ne le sont réellement.

Parmi les deux premières options, les agrocarburants semblent être plus prometteurs à court terme, principalement en raison de leur coût relativement plus faible, tandis que les carburants synthétiques ont plus de potentiel à long terme, principalement parce qu'ils sont confrontés à moins d'obstacles en termes de disponibilité des matières premières (Scheelhaase et al., 2019 ; The Royal Society, 2019). Il convient de noter que le potentiel de diminution des émissions de gaz à effet de serre grâce aux agrocarburants et aux carburants synthétiques provient de leur production et éventuellement de leur transport, et non de leur combustion. Néanmoins, du point de vue du cycle de vie<sup>35</sup>, ces carburants peuvent réduire l'impact climatique des vols jusqu'à 80% selon ATAG (2020). Les préoccupations concernent l'évolutivité et le coût de ces nouveaux types de kérosène, la disponibilité suffisante en énergie propre, l'efficacité énergétique des processus concernés, l'utilisation de l'eau, ainsi que la concurrence pour les ressources avec d'autres secteurs.

Les agrocarburants pourront commencer à remplacer les carburants d'origine fossile à une échelle significative à la fin des années 2020, les carburants synthétiques après 2030. Il est intéressant de noter que, jusqu'au World Energy Outlook de 2020, l'AIE comptait essentiellement sur la substitution des carburants et sur des améliorations technologiques supplémentaires pour mener l'aviation sur la voie du développement durable. Aujourd'hui, elle admet que des changements de comportement sont également nécessaires. Son nouveau scénario « zéro émission nettes » prévoit une réduction de 50% des émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation après l'amélioration technologique, avec une réduction de 12% seulement du nombre de vols (Figure 21).

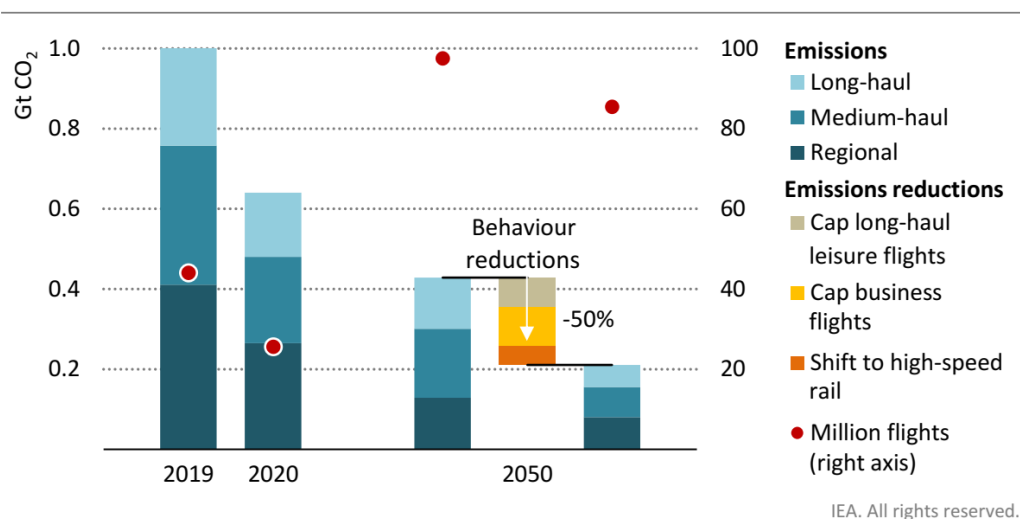


Figure 21: émissions mondiales de CO<sub>2</sub> dans le secteur de l'aviation par mesure de réduction dans le scénario « zéro émission nette » par rapport au scénario « Politiques établies » (AIE, 2021)

<sup>35</sup> Ce qui est en effet la mesure pertinente pour la politique climatique.

Il sera primordial de veiller à ce que les agrocarburants utilisés soient effectivement à faible teneur en carbone au cours de leur cycle de vie et durables, notamment en ce qui concerne la préservation des forêts et de la biodiversité. Ces carburants sont conventionnellement appelés « biocarburants avancés » ou « carburants durables d'aviation ». Toute politique visant à promouvoir l'adoption des agrocarburants devra exiger une certification rigoureuse pour garantir une faible intensité de carbone et la durabilité. Le potentiel mondial de ces agrocarburants, idéalement produits à partir de déchets organiques, est toutefois limité.

Le kérosène synthétique, également appelé électro-carburant, est une alternative plus prometteuse à long terme. Pour obtenir ces carburants, on utilise l'électricité pour décomposer l'eau en hydrogène et en oxygène. Avec le dioxyde de carbone recueilli dans l'atmosphère (ou une autre source de carbone), l'hydrogène est converti en gaz de synthèse et, plus tard, dans un processus Fischer-Tropsch, en hydrocarbures comme le kérosène. La combustion de ces carburants synthétiques n'émettrait que la quantité de CO<sub>2</sub> extraite de l'atmosphère pour les produire (Figure 22). Il resterait toutefois l'impact climatique des émissions autres que le CO<sub>2</sub>, comme la vapeur d'eau à haute altitude. Cet aspect, ainsi que l'extensibilité technologique et économique, sont décrits comme des défis majeurs pour les carburants synthétiques (Jönsson et al., 2019).

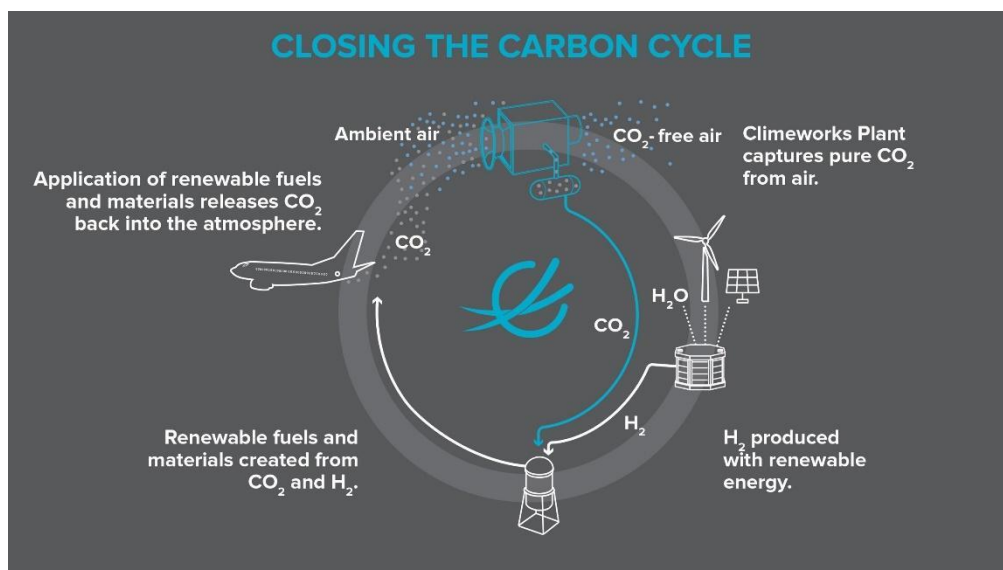


Figure 22: boucle fermée idéalisée pour la production de kérosène synthétique (Climeworks, 2019)

Évidemment, pour que les carburants synthétiques soient des carburants à faible teneur en carbone, il faut que l'électricité utilisée pour les produire soit dérivée d'une électricité renouvelable ou à faible teneur en carbone qui n'est pas remplacée par une production à forte teneur en carbone pour répondre à la demande d'électricité restante. Par ailleurs, la production excédentaire des nouvelles énergies renouvelables pourrait être utilisée pour la production de carburants synthétiques. Comme pour les agrocarburants, toute politique de promotion des carburants synthétiques devra s'accompagner de mécanismes de certification rigoureux afin de garantir la durabilité. Parmi les

projets prometteurs, citons le partenariat entre Climeworks et Synhelion, deux entreprises dérivées de l'ETH Zurich, qui a suscité l'intérêt du groupe Lufthansa (Groupe Lufthansa, 2020).

Le coût des carburants liquides synthétiques est estimé à environ 18 cents par kWh en 2022 s'ils sont produits avec de l'électricité générée par des panneaux solaires photovoltaïques et des éoliennes terrestres, tandis qu'il est de 24 cents par kWh s'ils sont produits avec des éoliennes offshore en Europe (Agora Energiewende, 2017). Cela équivaut à 3,6 et 4,8 fois le prix de l'essence fossile. Toutefois, avec la poursuite de la baisse du coût de la production d'électricité renouvelable, les coûts pourraient tomber à 13 et 11 cents par kWh respectivement d'ici 2050, ce qui ne représenterait que 2,6 et 2,2 fois le prix du pétrole fossile (Figure 23).

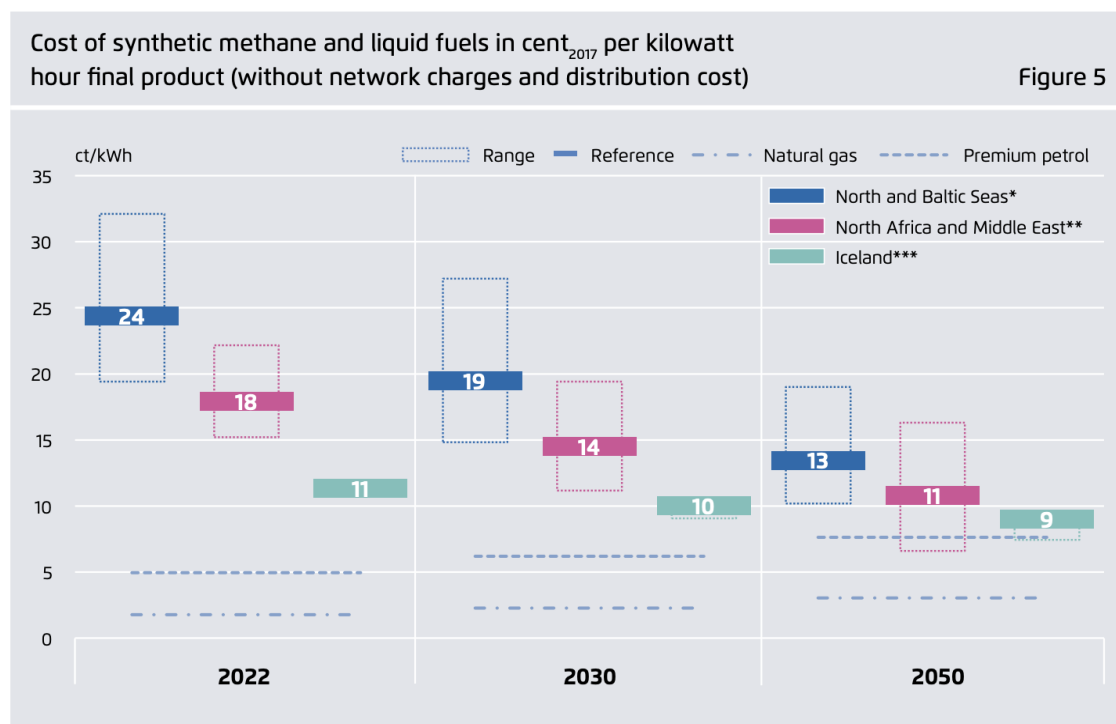


Figure 23: prévisions des coûts de production des carburants synthétiques dérivés de l'électricité renouvelable pour 2022, 2030 et 2050 (Agora Energiewende, 2017)

Bien que cela soit techniquement possible, de grandes quantités de production d'électricité renouvelable, ainsi que d'eau, sont nécessaires si l'ensemble du secteur de l'aviation doit être alimenté entièrement par des carburants synthétiques. Pour l'Union européenne, cela supposerait d'utiliser la quasi-totalité de la production d'électricité renouvelable de l'UE en 2015 uniquement pour la production de carburants synthétiques (Figure 24). Par conséquent, toute politique climatique axée sur les carburants synthétiques devrait s'accompagner d'une forte expansion de la production d'énergies renouvelables.

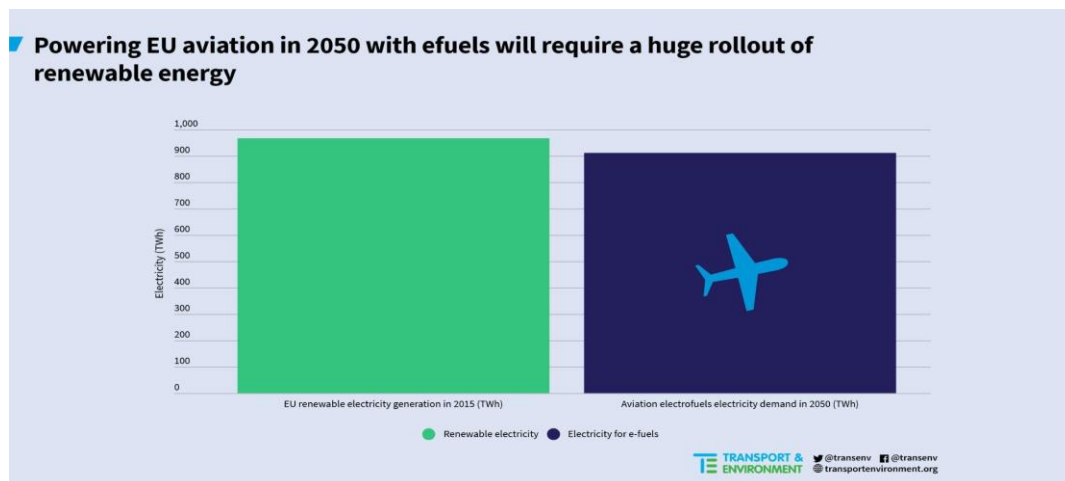


Figure 24: quantité d'électricité renouvelable nécessaire à la production de carburants synthétiques pour alimenter la demande de l'aviation européenne (Transport & Environment, 2020)

Néanmoins, contrairement aux agrocarburants durables, le potentiel mondial des carburants synthétiques produits à partir d'énergie renouvelable est vaste.

On estime à environ 215 le nombre d'avions à propulsion électrique en développement dans le monde en 2019 (Roland Berger, 2020). Cependant, pour les grands avions de ligne, c'est principalement la propulsion hybride qui est envisagée. En effet, la propulsion entièrement électrique dans l'aviation commerciale se heurte à des obstacles à la fois technologiques et physiques. Tout d'abord, le contenu énergétique des carburateurs liquides est supérieur à celui des batteries lithium-ion d'un facteur 45 au moins en termes de masse et d'un facteur 14 au moins en termes de volume.<sup>36</sup> En l'état actuel de la technique, il est admis qu'un appareil cherchant à effectuer un vol commercial standard en termes de distance parcourue et de passagers transportés serait tout simplement trop lourd pour décoller. Néanmoins, EasyJet par exemple, prévoit de proposer des vols entièrement électriques grâce à un partenariat avec Wright Electric. L'avion électrique devrait pouvoir couvrir des distances allant jusqu'à 500 km, mais ne pourra pas effectuer de vols commerciaux avant 2030 (Engineering & Technology, 2020), un délai « très ambitieux » selon certains experts (BBC, 2020). Toutefois, il est peu probable que les vols long-courriers, responsables de la majeure partie des émissions, reposent sur la propulsion électrique dans un avenir proche. Il convient également de répondre aux préoccupations en matière de sécurité, compte tenu du risque d'incendie associé aux batteries lithium-ion (Clean Energy Institute, 2020). En outre, comme pour les trains, il convient de noter que les avions électriques ou hybrides n'ont de sens que si l'énergie utilisée provient de sources d'énergie propres. Enfin, cette substitution technologique ne tient que

<sup>36</sup> L'énergie spécifique (c'est-à-dire exprimée en termes de masse) du kérosène est d'environ 43 MJ/kg, tandis que sa densité énergétique (c'est-à-dire exprimée en termes de volume) est proche de 35 MJ/L, sachant qu'un litre de kérosène pèse environ 0,8 kg. Ces chiffres correspondent respectivement à 11 944 Wh/kg et 9 722 Wh/L. En comparaison, une batterie lithium-ion (Li-ion) contient entre 100 et 265 Wh/kg et entre 250 et 670 Wh/L (Clean Energy Institute, 2020).

si les émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie induites par l'exploitation de ces avions sont plus faibles.

Il convient de noter que les avions électriques à énergie solaire, tels que le célèbre projet Solar Impulse 2, n'ont pas de potentiel commercial à grande échelle. En effet, quelle que soit la technologie des cellules solaires, la quantité de lumière solaire disponible en tout lieu est insuffisante pour fournir l'énergie nécessaire à la réalisation d'un vol commercial type.<sup>37</sup>

#### 6.5.1 APPROCHES VOLONTAIRES

##### Compensation

La possibilité de compenser les émissions de carbone sur une base volontaire (par exemple via myclimate ou South Pole) par les passagers ou les compagnies aériennes est relativement populaire. Cependant, elle ne représente qu'une très petite partie des émissions et elle calcule rarement l'impact total de l'aviation (trois fois les émissions de CO<sub>2</sub>, voir section 2.1). En outre, elle n'est pas viable à long terme, car toutes les sources d'émissions de gaz à effet de serre doivent être réduites à un niveau proche de zéro, y compris celles de l'aviation.

#### 6.5.2 MESURES DE LA QUANTITÉ

##### Imposer une part minimale de carburants à faible teneur en carbone

La fixation d'un plafond sur la teneur en carbone des carburants d'aviation laisserait aux entreprises le choix des options les plus rentables. Une part minimale d'un carburant spécifique à faible teneur en carbone ou une part de mélange obligatoire sont plus contraignantes. Un professeur de l'ETH Zurich, par exemple, recommande d'imposer une part minimale de kérosène synthétique, en commençant par 1% dans l'immédiat, et en augmentant progressivement la limite inférieure légale par la suite, de manière à voir la capacité de production augmenter de 20% par an pour atteindre 100% de kérosène durable en 2050 (Patt, 2019). Préciser quel carburant à faible teneur en carbone doit être adopté enverrait un message clair aux investisseurs, qui craignent actuellement que l'augmentation de la capacité de production ne se traduise pas par une augmentation des ventes étant donné le prix plus élevé des carburants à faible teneur en carbone par rapport au kérosène classique. La croissance de la production entraînerait une baisse des coûts de production grâce à l'apprentissage technologique.

---

<sup>37</sup> En moyenne, l'énergie radiante émise par le soleil pendant une heure et arrivant au sommet de l'atmosphère est de 1 361 Wh/m<sup>2</sup> (Coddington et al., 2016). En considérant qu'un A320 a environ (100 m<sup>2</sup> d'ailes + 138 m<sup>2</sup> de fuselage, tiers supérieur ; Airbus, 2020) 250 m<sup>2</sup> de surface supérieure horizontale, l'énergie captée serait d'environ 0,3 mWh. En comparaison, le même avion effectuant un vol d'environ une heure entre Paris CDG et Londres LGW utilise l'équivalent de 28,9 mWh (OACI, 2016) d'énergie fossile. Là encore, l'augmentation de la surface de l'avion se heurterait aux obstacles du poids et de la traînée supplémentaires.



Des quotas peuvent être mis en place par les gouvernements nationaux aujourd'hui, mais ils auraient un impact encore plus important s'ils étaient instaurés en coopération avec l'Union européenne, étant donné que la grande majorité du trafic aérien est international et non national. La Norvège a été parmi les premiers pays à instaurer une telle exigence, avec une part minimale de 0,5% pour les agrocarburants avancés en place depuis janvier 2020. Les agrocarburants dérivés de matières premières problématiques comme l'huile de palme ne sont pas éligibles. Au moment de la rédaction du présent rapport, seuls cinq aéroports distribuent régulièrement des agrocarburants (Bergen, Brisbane, Los Angeles, Oslo et Stockholm). La Commission européenne discute actuellement des quotas de carburants synthétiques dans le cadre de sa stratégie sur l'hydrogène. Le ministre allemand de l'Environnement a récemment proposé un objectif de 2% de carburants synthétiques d'ici 2030.

Plutôt que de mettre en œuvre des parts minimales de mélange directement au niveau des vols ou des compagnies aériennes, Sheelhaase et al. (2019) recommandent l'utilisation de certificats verts. En laissant les compagnies aériennes échanger leurs obligations d'utiliser une quantité donnée de carburants à faible teneur en carbone, le coût supplémentaire de leur utilisation est séparé de leur utilisation réelle. Un tel système permettrait de surmonter les problèmes logistiques, car il serait plus facile de fournir tous les carburants à faible teneur en carbone disponibles à quelques aéroports seulement.

### 6.5.3 MESURES DE PRIX

#### Renforcer les incitations fiscales pour le renouvellement de la flotte

Les compagnies aériennes basées en Suisse (en particulier Swiss International Airlines et EasyJet) ont investi dans de nouveaux appareils plus économes en carburant qui réduiront leurs émissions par passager-kilomètre. Les compagnies aériennes continueront à investir dans des avions plus récents et plus économes en carburant, car cela permet de réduire leurs coûts de carburant. Le gouvernement suisse pourrait envisager de renforcer les incitations fiscales (par exemple, en autorisant un amortissement accéléré) pour les encourager à le faire plus rapidement. Reste à voir si cette stratégie est judicieuse du point de vue du cycle de vie, car les gains d'efficacité énergétique pendant la durée de vie de l'avion pourraient être (sur)compensés par les émissions générées pendant sa construction.

En outre, ces nouveaux avions sont généralement plus grands, ce qui tend à compenser leur plus grande efficacité, de sorte qu'il n'est pas certain qu'il s'agisse d'un avantage net du point de vue de la réduction des émissions totales.

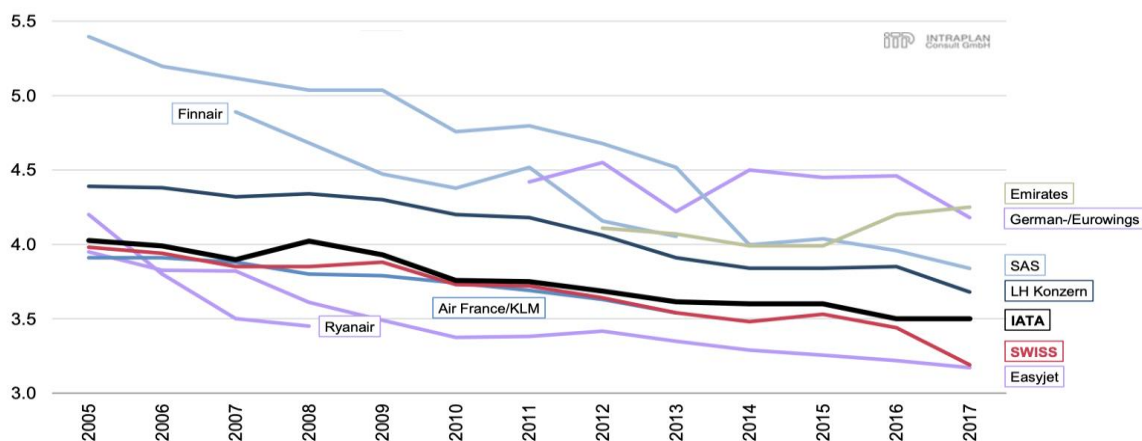


Figure 25: efficacité énergétique des différentes compagnies aériennes opérant en Suisse en litre par 100 pkm (Intraplan Consult, 2018)

### Subventionner temporairement les carburants à faible teneur en carbone

Dans le cadre d'une résolution récente, les membres de l'OACI ont déclaré qu'ils reconnaissaient « que la faisabilité technologique des carburants aéronautiques durables à faible teneur en carbone est avérée et que l'introduction de politiques et d'incitations appropriées destinées à créer une perspective de marché à long terme est indispensable » (OACI, 2019c, notre trad.). En effet, les carburants à faible teneur en carbone étant plus chers que le kérosène (Figure 26), des subventions directes visant à accroître leur compétitivité pourraient être nécessaires pour que les entreprises les adoptent sur une base volontaire. Bien que les carburants d'aviation ne doivent pas être subventionnés en tant que tels dans une économie de marché, des subventions compensatoires pour des alternatives « propres » peuvent être justifiées jusqu'à ce que l'alternative « polluante » puisse être amenée à couvrir tous ses coûts externes en vue de niveler le « terrain de jeu ». La solution la plus efficace serait, bien entendu, que le prix du kérosène reflète tous ses coûts externes. Les incitations fiscales en faveur des carburants à faible teneur en carbone pourraient alors prendre la forme d'exemptions d'une taxe sur le kérosène ou d'une taxe sur le carbone pour le kérosène qui devrait être introduite en premier lieu (section 6.3.4).

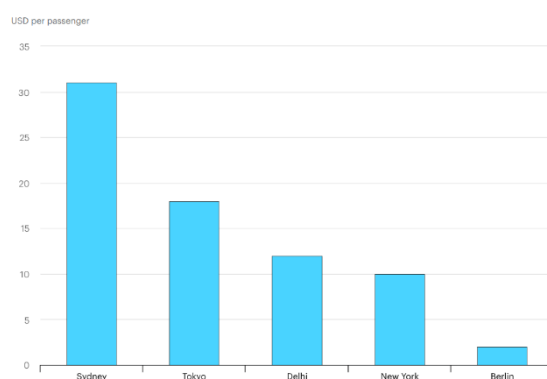


Figure 26: prime de coût d'un mélange de 15% d'agrocarburants pour l'aviation commerciale par passager entre Londres et des villes données (AIE, 2019a)

#### 6.5.4 AUTRES MESURES

##### Soutenir la R&D pour des systèmes et des conceptions révolutionnaires de propulsion d'aéronefs

Outre le passage à des carburants alternatifs, l'efficacité énergétique des avions doit être considérablement accrue chaque année. Toutefois, les technologies évolutives ne suffiront pas à maintenir un taux de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> similaire à celui d'aujourd'hui, ce qui rend nécessaire le développement de technologies révolutionnaires à long terme (IATA, 2019a).

En soutenant la R&D dans le domaine de l'aviation, les futures options technologiques telles que les systèmes de propulsion hybride-électrique et les conceptions d'ailes volantes (Figure 27) pourraient être rendues possibles, ce qui, selon Airbus, pourrait améliorer considérablement le rendement énergétique, jusqu'à 40% lorsqu'elles sont combinées. Cette méthode permettrait d'atténuer le défi que représente la production de grandes quantités de carburant synthétique à partir d'électricité renouvelable, mais se heurte à un certain nombre d'autres limites importantes, comme nous l'avons vu plus haut.



*Figure 27: MAVERIC, le démonstrateur d'aile volante d'Airbus, pourrait à lui seul réduire la consommation de carburant de 20% (Photo : Airbus)*

##### Envisager de co-investir dans des installations de fabrication d'agrocarburants et de carburants synthétiques

Le manque de capacité de production constituera un défi majeur lors des premières étapes du passage aux agrocarburants et aux carburants synthétiques pour l'aviation. Les producteurs peuvent être réticents à mettre en place des capacités supplémentaires étant donné l'incertitude quant aux niveaux de la demande. Les gouvernements devront peut-être intervenir et assumer une partie du risque d'investissement dans la phase initiale en co-investissant dans des installations de production.

## 6.6 Conclusions concernant des mesures supplémentaires visant à réduire l'impact de l'aviation sur le climat

La taxe sur les billets proposée constituerait un pas en avant vers les objectifs climatiques de la Suisse, mais elle ne suffit pas à compenser les tendances de *croissance* à long terme, et encore moins à faire baisser les émissions absolues. Des mesures supplémentaires seraient donc nécessaires. Ce chapitre présente une vue d'ensemble de ces mesures supplémentaires potentielles.

Une mise en œuvre et un impact relativement rapides pourraient être obtenus grâce aux options suivantes:

- Les trains de nuit et à grande vitesse constituent une alternative prometteuse à l'avion pour les destinations les plus fréquentées telles que Londres, Berlin et Amsterdam. De multiples moyens pour y parvenir, dont l'interdiction pure et simple des vols court-courriers, des subventions et le développement de l'offre ferroviaire, pourraient favoriser les changements de mode de transport.
- L'établissement de normes sociales en limitant la publicité et en proposant de bons modèles peut s'avérer fructueux directement par la diminution de la demande et l'acceptation sociale d'autres politiques.
- Des politiques visant à augmenter le coefficient de remplissage, par exemple en décourageant ou en interdisant les sièges d'affaires sur les vols court et moyen-courriers, et en imposant des amendes progressives aux compagnies aériennes pour les vols à faible capacité.

À moyen et à long terme, il faudra recourir davantage aux carburants synthétiques si l'industrie aérienne veut se rapprocher de la neutralité carbone sans recourir à des compensations. Compte tenu des échelles nécessaires, les carburants synthétiques sont probablement un meilleur pari à long terme que les biocarburants. Des mesures d'incitation légales pourraient être mises en place rapidement, telles que des exigences d'introduction, des subventions à la R&D et des compensations pour les désavantages des premiers arrivés. Il serait utile d'envoyer un signal législatif précoce à l'industrie, et il faudrait augmenter la production.

À plus long terme, des changements technologiques majeurs, tels que des avions alimentés par des batteries pour les vols court-courriers, sont envisageables. Bien que la recherche et le développement dans le domaine de la technologie des batteries se développent rapidement, même le scénario le plus rapide consistant à équiper les avions existants d'une alimentation par batterie est, au mieux, une solution à plus long terme.

## 7 Conclusion

Si l'on tient compte des effets hors CO<sub>2</sub> des émissions des avions, l'aviation est le secteur économique qui contribue le plus à l'impact sur le réchauffement climatique des émissions de gaz à effet de serre domestiques suisses. Alors que tous les autres secteurs réduisent leur impact climatique, aucune amélioration n'a été observée dans l'aviation avant la pandémie de COVID-19. Sans politique climatique supplémentaire, le nombre de vols au départ de la Suisse devrait augmenter de 2,1% et la demande de passagers de 3,2% par an jusqu'en 2030. Même dans le cadre d'un scénario optimiste avec une croissance annuelle de 2,5% de la demande de passagers et une réduction annuelle de 1,5% de la consommation de carburant des avions, le potentiel de réchauffement global de l'aviation suisse augmenterait de 36% jusqu'en 2050. Par conséquent, la réduction de la croissance du nombre de passagers aériens est un élément crucial de la politique climatique pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. Les outils politiques permettant de réduire la demande comprennent une taxe sur les billets d'avion, une taxe sur les voyageurs fréquents, des taxes sur le carburant, des quotas de vols individuels négociables ainsi que des politiques plus souples basées sur des approches volontaires.

La fréquence des voyages en avion dépend fortement du revenu (OFS et ARE, 2017). En moyenne, les Suisses vivant dans des ménages dont le revenu est inférieur à 4 000 CHF par mois ne prennent que 0,3 vol par an. En revanche, les Suisses vivant dans des ménages à hauts revenus, dépassant 12 000 CHF par mois, prennent 1,7 fois l'avion par an, soit 5,7 fois plus souvent que la classe de revenus la plus basse. Par conséquent, les taxes sur les billets d'avion avec une redistribution des recettes par habitant entraînent des avantages financiers pour les ménages à faibles revenus. Étant donné que 77% des passagers aériens suisses se rendent dans des pays européens, un transfert modal vers les trains de nuit et les trains à grande vitesse constitue une alternative viable à l'avion lorsque de telles infrastructures ferroviaires existent.

Pour déterminer l'impact des taxes sur les billets d'avion, une revue de la littérature internationale sur les élasticités de la demande par rapport au prix a été réalisée. Ont été trouvées pour les voyages en classe premium des valeurs d'élasticité considérablement plus faibles que pour les voyages en classe économique. Des valeurs légèrement inférieures ont également été trouvées pour les vols long-courriers par rapport aux vols court-courriers. Les estimations de l'élasticité de la demande pour les vols court-courriers en classe économique se situent autour de 1,2 et sont légèrement inférieures à 1 pour les vols long-courriers en classe économique. Pour la classe premium, les estimations de l'élasticité se sont révélées nettement inférieures : 0,5 pour les vols court-courriers et 0,25 pour les vols long-courriers.

Dans le cadre de ce livre blanc, il a été supposé que les billets court-courriers en classe économique seraient assortis d'une taxe de 30 CHF et les billets en classe premium d'une taxe de 60 CHF. Les

billets long-courriers en classe économique seraient quant à eux taxés à 90 CHF, contre 120 CHF au maximum pour la classe premium. Grâce à ces taux de taxation, la demande des passagers pourrait diminuer de 21% et les émissions de CO<sub>2</sub> de 16% par rapport à une situation de référence sans taxe sur les billets d'avion. Afin de fournir une évaluation plus approfondie, nous avons simulé d'autres barèmes de taxation sur les billets d'avion : un barème prévoyant une augmentation de la taxe de 4,7% chaque année jusqu'en 2050, un barème équivalent à la taxe britannique Air Passenger Duty de 2021 et un barème appliquant une taxe de 74 CHF par tonne de CO<sub>2</sub>eq émise. Ces programmes diffèrent à certains égards, mais ils finissent par influencer sur le nombre de passagers et les quantités d'émissions dans des proportions relativement similaires.

Les recherches futures devraient se concentrer sur l'estimation de la courbe d'offre des billets d'avion suisses, ainsi que sur la fourniture d'estimations actualisées de l'élasticité de la demande de voyages aériens suisses différenciée en fonction du revenu des ménages. Enfin, il conviendrait de mieux comprendre les mécanismes de tarification des billets d'avion afin de tenir compte des stratégies de tarification internes des compagnies aériennes visant à modérer la réduction de la demande des passagers.

# Références

- AFD (2020). *Généralités concernant le perception de l'impôt sur les carburants d'aviation*. Administration fédérale des douanes. Berne. Extrait de <https://www.ezv.admin.ch/ezv/fr/home/infos-pour-entreprises/impots-et-redevances/importation-en-suisse/impot-sur-les-huiles-minerales/carburant-pour-le-ravitaillement-d-aeronefs/generalites-concernant-le-perception-de-l-impot-sur-les-carburan.html>
- AIE (2019a). *Are aviation biofuels ready for take off?* Commentary. Agence internationale de l'énergie. Extrait de <https://www.iea.org/commentaries/are-aviation-biofuels-ready-for-take-off>
- AIE (2019b). *Energy intensity of passenger transport modes, 2018*. Agence internationale de l'énergie. Extrait de <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/energy-intensity-of-passenger-transport-modes-2018>
- AIE (2019c). *Future of Rail*. Agence internationale de l'énergie. Extrait de <https://www.iea.org/reports/the-future-of-rail>
- AIE (2020a). *Tracking Transport 2020*. Agence internationale de l'énergie. Extrait de <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2020/aviation>
- AIE (2020b). *World Energy Outlook 2020*. Agence internationale de l'énergie. Extrait de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- AIE (2021). *Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector*. Agence internationale de l'énergie. Mai. Extrait de <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- Airbus (2018). *Airbus aircraft 2018 average list prices*. Extrait de <https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/Airbus-Commercial-Aircraft-list-prices-2018.pdf>
- Airbus (2020). *Aircraft Characteristics, Airport and Maintenance Planning*. Airbus A319, A320 et A321. Extrait de <https://www.airbus.com/aircraft/support-services/airport-operations-and-technical-data/aircraft-characteristics.html>
- ATAG (2020). *Aviation: Benefits Beyond Borders*. Air Transport Action Group. Extrait de <https://aviationbenefits.org/downloads/aviation-benefits-beyond-borders-2020/>
- Avenergy Suisse (2020). *Rapport annuel 2019*. Extrait de <https://www.avenergy.ch/fr/publications/rapport-annuel>
- Baumol, W. J., and W.E. Oates (1988). *The Theory of Environmental Policy*. Cambridge University Press

- BBC (2020). *The largest electric plane ever to fly*. <https://www.bbc.com/future/article/20200617-the-largest-electric-plane-ever-to-fly> (besucht May 2021)
- Bofinger, H., and J. Strand (2013). Calculating the carbon footprint from different classes of air travel. *Policy Research Working Paper* 6471. World Bank. Extrait de <http://documents.worldbank.org/curated/en/141851468168853188/Calculating-the-carbon-footprint-from-different-classes-of-air-travel>
- Bosshardt, L., M. Hermann, und B. Wüest (2020). Grundlagenstudie Flugticketabgabe Schweiz: Flugverhalten, CO<sub>2</sub>-Emissionen und zwei Ausgestaltungsmodelle im Vergleich. 2. Version. *Bericht* im Auftrag von Verein Rote Annelise. Forschungsstelle sotomo, Zürich. Mai
- Brons, M, E. Pels, P. Nijkamp and P. Rietveld (2002). Price elasticities of demand for passenger air travel: a meta-analysis. *Journal of Air Transport Management*, 8(3), pp. 165-175
- Carbon Brief (2019). *Corsia: The UN's plan to 'offset' growth in aviation emissions after 2020*. Extrait de <https://www.carbonbrief.org/corsia-un-plan-to-offset-growth-in-aviation-emissions-after-2020>
- CE Delft (2019). *Taxes in the Field of Aviation and their Impact*. Report to the Directorate-General for Mobility and Transport (European Commission). Extrait de <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0b1c6cdd-88d3-11e9-9369-01aa75ed71a1>
- Clean Energy Institute (2020). *Lithium-Ion Battery*. Extrait de <https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/battery-technology/>
- Climeworks (2019). *Renewable jet fuel from air*. Extrait de <https://www.climeworks.com/renewable-jet-fuel-from-air/>
- Coddington, O., J.L. Lean, P. Pilewskie, M. Snow, and D. Lindholm (2016). A solar irradiance climate data record. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97(7): 1265-1282
- Cox, B., W. Jemiolo and C. Mutel (2018). Life cycle assessment of air transportation and the Swiss commercial air transport fleet. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 58: 1-13. January
- DB International (2013). *Night Trains 2.0 – New opportunities by HSR*. Study on behalf of International Union of Railways (UIC), Berlin. Extrait de [http://www.nachtzug-retten.de/wp-content/uploads/2016/05/2013-04-30\\_uic\\_study\\_night\\_trains\\_2.02.pdf](http://www.nachtzug-retten.de/wp-content/uploads/2016/05/2013-04-30_uic_study_night_trains_2.02.pdf)
- DBEIS (2019). *2019 Government Greenhouse Gas Conversion Factors for Company Reporting – Methodology Paper for Emissions Factors*. Department for Business, Energy & Industrial Strategy. Extrait de <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2019>



- Directorate-General for Internal Policies, European Parliament (2017). *Research for TRAN Committee – Passenger night trains in Europe: the end of the line?* Extrait de [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/601977/IPOL\\_STU\(2017\)601977\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/601977/IPOL_STU(2017)601977_EN.pdf)
- The Economist (2021). *Business travel may never fully recover from COVID-19*. Special Report, February 2021. Extrait de <https://www.economist.com/special-report/2021/02/11/business-travel-may-never-fully-recover-from-covid-19>
- Engineering & Technology (2020). *EasyJet partner takes crucial step towards electric plane*. Extrait de <https://eandt.theiet.org/content/articles/2020/01/easyjet-partner-takes-crucial-step-towards-its-first-electric-plane/>
- ESU-services (2018). *Aviation and Climate Change: Best practice for calculation of the global warming potential*. Extrait de <http://esu-services.ch/fileadmin/download/jungbluth-2018-RFI-best-practice.pdf>
- EUROCONTROL (2021). *EUROCONTROL Data Snapshot on CO<sub>2</sub> emissions by flight distance*. Extrait de <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-data-snapshot-co2-emissions-flight-distance>
- European Commission (2019). *Emissions Trading System (EU ETS), Free allocation of allowances*. Extrait de [https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/allowances/aviation\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/allowances/aviation_en)
- European Commission (2019) *Taxes in the field of aviation and their impact*. Directorate-General for Mobility and Transport, Bruxelles
- European Environment Agency (2019). *European Aviation Environmental Report 2019*. Extrait de <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2019-aviation-environmental-report.pdf>
- Eurostat (2020). *Air passenger transport between the main airports of Switzerland and their main partner airports (routes data)*. Extrait de [https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/avia\\_par\\_ch](https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/avia_par_ch)
- FÖS (2020). *Zehn klimaschädliche Subventionen im Fokus. Wie ein Subventionsabbau den Klimaschutz voranbringt und den Bundeshaushalt entlastet*. Eine Studie des Forums Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft im Auftrag von Greenpeace. November. Extrait de <https://foes.de/de-de/publikationen>
- Genève Aéroport (2020), Statistics 2019. Extrait de <https://www.gva.ch/en/Site/Geneve-Aeroport/Publications/Statistiques>
- GIEC (1999). *Aviation and the Global Atmosphere*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press

- GIEC (2018). *Special Report on Global Warming of 1.5°C (SR15)*. Intergovernmental Panel on Climate Change
- Google-Flights (2020). Google. Extrait de [https://www.google.com/travel/flights?tfs=CBwQARobag0IAhIJL20vMDFfd2pqEgoyMDIxLTA0LTA0GhsSCjIwMjEtMDQtMDhyDQgCEgkvbS8wMV93ampwAYIBCwj\\_\\_\\_\\_\\_8BQAFIAZgBAQ](https://www.google.com/travel/flights?tfs=CBwQARobag0IAhIJL20vMDFfd2pqEgoyMDIxLTA0LTA0GhsSCjIwMjEtMDQtMDhyDQgCEgkvbS8wMV93ampwAYIBCwj_____8BQAFIAZgBAQ)
- Gillen, D.W., W.G. Morrison and C. Stewart (2003). *Air travel demand elasticities: concepts, issues and measurement*. Final Report, Department of Finance, Canada
- Hileman, J.I., and R.W. Stratton (2014). Alternative Jet Fuel Feasibility. *Transport Policy* 34: 52-62.
- IATA (2019a). *Aircraft Technology Roadmap to 2050*. Extrait de <https://www.iata.org/en/programs/environment/technology-roadmap/>
- IATA (2019b). *Taxes & the environment, Fact sheet*. Extrait de <https://www.iata.org/contentassets/c4f9f0450212472b96dac114a06cc4fa/fact-sheet-greentaxation.pdf>
- IATA (2020). *IATA 20-year Air Passenger Forecast*. International Air Traffic Association (IATA). <https://www.iata.org/en/publications/store/20-year-passenger-forecast/>
- IATA (2021). *Fact Sheet, Aviation & Climate Change*. Extrait de <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet--climate-change/>
- ICAO (2010). *Environmental Report 2010*. Extrait de [https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentReport-2010/ICAO\\_EnvReport10-Ch1\\_en.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentReport-2010/ICAO_EnvReport10-Ch1_en.pdf)
- ICAO (2016). *ICAO Carbon Emissions Calculator*. Extrait de <https://www.icao.int/environmental-protection/Carbonoffset/Pages/default.aspx>
- ICAO (2017). *ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology – Version 10*. Civil Aviation Organization (ICAO). Extrait de [https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator\\_v10-2017.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator_v10-2017.pdf)
- ICAO (2019a). *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSA)*. Civil Aviation Organization (ICAO). Extrait de <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSA/Pages/default.aspx>
- ICAO (2019b). *Environmental Report 2019 – Aviation and Environment*. Civil Aviation Organization (ICAO). Extrait de <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/envrep2019.aspx>
- ICAO (2019c). *Resolution A40-18: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection – Climate change*. Extrait de <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Assembly/A40-18.pdf>

- ICF Consulting, Air Transportation Analytics, NewClimate Institute, Cambridge Econometrics, HFW, and Sven Starckx (2020). *Assessment of ICAO's global market-based measure (CORSLIA) pursuant to Article 28b and for studying cost pass-through pursuant to Article 3d of the EU ETS Directive*. Report to the European Commission, Directorate-General for Climate Action, September. Extrait de <https://drive.google.com/file/d/1JF0hDcs1LUGXsrHtya3QPKKukSH4av-g/view>
- ICSA (2018). *ICSA views on a long-term climate goal for international aviation*. International Coalition for Sustainable Aviation. Extrait de <http://www.icsa-aviation.org/wp-content/uploads/2018/06/ICSA-views-LTG-June-2018.pdf>
- IMO (2018). *UN body adopts climate change strategy for shipping*. Extrait de <http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/06GHGinitialstrategy.aspx>
- INFRAS (2009). *Einbezug des Schweizer Flugverkehr ins EU EHS*. Extrait de [https://www.infras.ch/media/filer\\_public/74/90/7490a62f-9ba1-401d-8d7f-50056077dc80/sb\\_1853\\_auswirkungen\\_eu\\_ehs\\_schweiz\\_fin.pdf](https://www.infras.ch/media/filer_public/74/90/7490a62f-9ba1-401d-8d7f-50056077dc80/sb_1853_auswirkungen_eu_ehs_schweiz_fin.pdf)
- InterVISTAS (2007). *Estimating Air Travel Demand Elasticities*. Extrait de <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/estimating-air-travel-demand-elasticities---by-intervistas/>
- Intraplan Consult (2015). *Entwicklung des Luftverkehrs in der Schweiz bis 2030 – Nachfrageprognose*. Extrait de <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/das-bazl/studien-und-berichte.html>
- Intraplan Consult (2018). *Monitoring der Wettbewerbsfähigkeit des Schweizer Luftverkehrs 2018*. Extrait de <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/das-bazl/studien-und-berichte.html>
- Jönsson, O., et al. (2019). *ETH Initiative on the Decarbonization of Aviation*. Extrait de [https://sccer-mobility.ch/aboutus/sccer\\_events/Initiative-on-the-Decarbonization-of-Aviation/](https://sccer-mobility.ch/aboutus/sccer_events/Initiative-on-the-Decarbonization-of-Aviation/)
- Kantelaar, M.K.H. (2019). *Night-Time Train Travel: A Stated-Preference study into the Willingness to Use night trains for European long-distance travel*. Master thesis TU Delft
- KLM Newsroom (2019). *KLM, Thalys and NS Dutch Railways have joined forces to replace flights between Brussels and Amsterdam Airport Schiphol*. 13 September. Extrait de <https://news.klm.com/klm-thalys-and-ns-dutch-railways-have-joined-forces-to-replace-flights-between-brussels-and-amsterdam-airport-schiphol/>
- Lee, D.S., et al. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment* 244: 117834. January
- Lufthansa (2019). *Annual Report 2019*. Lufthansa Group. Extrait de <https://investor-relations.lufthansagroup.com/fileadmin/downloads/en/financial-reports/annual-reports/LH-AR-2019-e.pdf>

- Lufthansa Group (2020). *Flying with sunlight*. <https://www.lufthansagroup.com/en/newsroom/releases/flying-with-sunlight.html> (accessed May 2021)
- Morlotti, C., M. Cattaneo, P. Malighetti and R. Redondi (2017). Multi-dimensional price elasticity for leisure and business destinations in the low-cost air transport market: Evidence from EasyJet. *Tourism Management* 61: 23-34. August
- Mumbower, S., L.A. Garrow and M.J. Higgins (2014). Estimating flight-level price elasticities using online airline data: A first step toward integrating pricing, demand, and revenue optimization. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 66: 196-212. August. [10.1016/j.tra.2014.05.003]
- Miyoshi, C., and H. Fukui (2018). Measuring the rebound effects in air transport: The impact of jet fuel prices and air carriers' fuel efficiency improvement of the European airlines. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 112: 71-84. June [10.1016/j.tra.2018.01.008]
- Neu, U. (2021). The impact of emissions from aviation on the climate – 2<sup>nd</sup> edition. *Swiss Academies Communications* 16(3). Extrait de <https://scnat.ch/en/id/cSx4y>
- New Economics Foundation (2015). *Managing aviation passenger demand with a frequent flyer levy*. Extrait de [https://neweconomics.org/uploads/files/58e9fad2705500ed8d\\_hzm6yx1zf.pdf](https://neweconomics.org/uploads/files/58e9fad2705500ed8d_hzm6yx1zf.pdf)
- OFAC (2020). *Taxes d'atterrissage liées aux émissions*. Office fédéral de l'aviation civile. Berne. Extrait de <https://www.bazl.admin.ch/bazl/fr/home/experts/aeronefs/taxes-d-atterrissage-liees-aux-emissions.html>
- OFEV (2021). *Inventaire des gaz à effet de serre de la Suisse*. Office fédéral de l'environnement, Berne, 12 avril. Extrait de <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/etat/donnees/inventaire-gaz-effet-serre.html>
- OFS (2019). *Transport aérien - Trafic de lignes et charter. Résultats annuels 2018*. Office fédéral de la statistique. Neuchâtel. Extrait de <https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/su-b-11-LFS-2018-K0>
- OFS (2020a). *Statistiques de l'aviation civile suisse 2019 – 5. Passagers*. Office fédéral de la statistique. Neuchâtel. Extrait de <https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/su-b-438-11.7.AV-e-5>
- OFS (2020b). *Statistiques de l'aviation civile suisse 2019 – 7. Emissions polluantes et consommation de carburant*. Office fédéral de la statistique. Neuchâtel. Extrait de <https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/su-b-438-11.7.AV-e-7>
- OFS (2020c). *Swiss Civil Aviation 2019*. Office fédéral de la statistique. Neuchâtel. Extrait de <https://www.bfs.admin.ch/asset/en/409-1904>

- OFS et ARE (2017). *Comportement de la population en matière de transports – Résultats du micro-recensement mobilité et transports 2015*. Office fédéral de la statistique et Office fédéral du développement territorial. Neuchâtel. Extrait de <https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/841-1500>
- Patt, A. (2019). *Making flying actually sustainable*. ETH Zurich. Extrait de <https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2019/06/blog-sustainable-flying-patt.html>
- Pearce, B. (2020). *Outlook for air transport and the airline industry*. Presentation to the IATA Annual General Meeting, Nov. 2020. Extrait de <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/presentations/outlook/>
- Peter, M, H. Lückge and M. Maibach (2009). *Einbezug des Schweizer Flugverkehrs ins EU EHS: Wirtschaftliche Auswirkungen möglicher Szenarien*. INFRAS, Zurich and Bern. Extrait de [https://www.infras.ch/media/filer\\_public/74/90/7490a62f-9ba1-401d-8d7f-50056077dc80/sb\\_1853\\_auswirkungen\\_eu\\_ehs\\_schweiz\\_fin.pdf](https://www.infras.ch/media/filer_public/74/90/7490a62f-9ba1-401d-8d7f-50056077dc80/sb_1853_auswirkungen_eu_ehs_schweiz_fin.pdf)
- Prognos, INFRAS, TEP Energy and Ecoplan (2020). *Energioperspektiven 2050+ Kurzbericht*. 26 November. Extrait de <https://www.bfe.admin.ch/bfe/en/home/policy/energy-perspectives-2050-plus.html>
- Roland Berger (2020). *Aircraft Electrical Propulsion*. Extrait de <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Global-Topics/Electric-Propulsion/>
- The Royal Society (2019). *Sustainable synthetic carbon-based fuels for transport: Policy briefing*. Extrait de <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/low-carbon-energy-programme/sustainable-synthetic-carbon-based-fuels-for-transport/>
- Sandbag (2021). *Carbon Price Viewer*. Extrait de <https://sandbag.org.uk/carbon-price-viewer/>
- Scheelhaase, J., S. Maertens, and W. Grimme (2019). Synthetic fuels in aviation – Current barriers and potential political measures. *Transportation Research Procedia*, 43: 21-30.
- Schneider Schüttel, U. (2019). *19.3508 Interpellation*. Extrait de <https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefte?AffairId=20193508>
- Sigrist, D., R. Iten und M. Zimmermann (2019). *Finanzielle Auswirkung von Abgaben auf Brennstoffe, Treibstoffe und Flugtickets. Rechenbeispiele für ausgewählte Haushalte*. Infrass, Zurich
- Simplemaps (2020). Extrait de <https://simplemaps.com/data/world-cities>
- Swedavia (2020). *Swedavia's traffic statistics for December and the full year 2019*. Extrait de <https://www.swedavia.com/about-swedavia/for-press/swedavias-traffic-statistics-for-december-and-the-full-year-2019/#gref>
- Swiss (2020). *Swiss International Airlines*. Extrait de <https://www.swiss.com/in/en/discover/fleet>

- Swiss Parliament (2020). *Révision totale de la loi sur le CO<sub>2</sub> pour la période postérieure à 2020*. Extrait de <https://www.parlament.ch/en/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefft?AffairId=20170071>
- Thalmann, P. (2019). Des contingents flexibles pour le transport aérien. *Bulletin AES, Association des entreprises électriques suisses*, N°9, pp. 2-5. 6 septembre
- Transport & Environment (2019). *Domestic aviation fuel tax in the EU*. Extrait de [https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2010\\_01\\_Briefing\\_domestic\\_fuel\\_taxation\\_briefing.pdf](https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2010_01_Briefing_domestic_fuel_taxation_briefing.pdf)
- Transport & Environment (2020). *Wednesday's EU hydrogen strategy needs to prioritise hard-to-decarbonise transport modes*. Press release of 3 July. Extrait de <https://www.transportenvironment.org/press/wednesday%E2%80%99s-eu-hydrogen-strategy-needs-prioritise-hard-decarbonise-transport-modes>
- UK Department for Transport (2014). *Public experiences of and attitudes towards air travel: 2014*. Extrait de [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/336702/experiences-of-attitudes-towards-air-travel.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/336702/experiences-of-attitudes-towards-air-travel.pdf)
- UK Department for Transport (2017). *UK Aviation Forecasts*. Extrait de [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/781281/uk-aviation-forecasts-2017.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/781281/uk-aviation-forecasts-2017.pdf)
- Umweltbundesamt (2016). *CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe*. Extrait de [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2-emissionsfaktoren\\_fur\\_fossile\\_brennstoffe\\_korrektur.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2-emissionsfaktoren_fur_fossile_brennstoffe_korrektur.pdf)
- United Nations (2019). *Climate Action Summit 2019*. Extrait de [https://www.un.org/en/climatechange/assets/pdf/CAS\\_closing\\_release.pdf](https://www.un.org/en/climatechange/assets/pdf/CAS_closing_release.pdf)
- Weitzman, M.L. (1974). Prices vs. quantities. *Review of Economic Studies*, 41(4), pp. 477-491
- WHO (2020). *Framework Convention on Tobacco Control*. Extrait de [https://www.who.int/tobacco/control/measures\\_art\\_13/en/](https://www.who.int/tobacco/control/measures_art_13/en/)
- Zurich Airport (2019). *Facts & Figures 2018*. Flughafen Zürich. Extrait de <https://www.zurich-airport.com/the-company/zurich-airport-ag/facts-and-figures>
- Zurich Airport (2020). *Facts & Figures 2019*. Flughafen Zürich. Extrait de <https://www.zurich-airport.com/the-company/zurich-airport-ag/facts-and-figures>

# Annexe : Terminologie

<b>Aviation générale</b>	L'aviation civile autre que le transport aérien commercial ou le travail aérien. Soit tous les vols privés et commerciaux autres que les vols de ligne et charters.
<b>Indice de forçage radiatif</b>	Multiplicateur appliqué aux émissions de CO <sub>2</sub> des avions pour tenir compte de l'effet de réchauffement net de toutes les émissions dues à la combustion du kérosène à haute altitude.
<b>Itinéraire</b>	Combinaison donnée de lieux de départ et d'arrivée. Par exemple, l'itinéraire Paris-Londres.
<b>Orthodromie</b>	La plus courte distance entre deux points de la surface d'une sphère, mesurée le long de la surface de la sphère, par opposition à une ligne droite traversant l'intérieur de la sphère.
<b>Passager</b>	Personne qui utilise un mode de transport donné pour se déplacer.
<b>Passager en transfert</b>	Passager qui n'est pas arrivé à sa destination finale et qui change d'avion à l'aéroport considéré dans les 24 heures. Ce type de passager est compté deux fois dans les statistiques générales sur les passagers, une fois à l'arrivée, une fois au départ.
<b>Passager en transit</b>	Comme un passager en transfert, à la différence près qu'il repart avec le même numéro de vol (généralement le même avion).
<b>Passager-kilomètre (pkm)</b>	Unité de mesure correspondant au transport d'un passager sur un kilomètre. Pour un vol donné, cela implique $[pkm] = [\text{nombre de passagers sur le vol}] * [\text{distance du vol en km}]$ . Étroitement lié au kilomètre passager payant.
<b>Passager local</b>	Passager au départ d'un aéroport suisse qui n'est ni en transfert ni en transit.
<b>Passager local résident</b>	Passager local dont le lieu de résidence est en Suisse.
<b>Vol</b>	Voyage en avion.
<b>Vol charter</b>	Liaison aérienne non régulière, généralement un vol acheté par un voyageur et inclus dans un forfait vacances.
<b>Vol d'affaires</b>	Voyage en avion effectué pour des raisons professionnelles, dans le cadre du travail.
<b>Vol long-courrier</b>	Communément défini comme un vol de plus de 4 500 km ou de plus de 6 heures, mais ces limites peuvent varier. Pour la taxe suisse sur les billets d'avion, une

destination long-courrier se situe à l'est de l'Oural, au sud des pays frontaliers de la Méditerranée ou au-delà de l'Atlantique. Pour nos simulations, elle est définie comme un vol au départ d'un aéroport suisse vers toute destination hors d'Europe.

- Vol court-courrier** Communément défini comme un vol de moins de 1 500 km ou de moins de 3 heures, mais ces limites varient. Pour la taxe suisse sur les billets d'avion, une destination court-courrier est en Europe, à l'exception de certaines destinations à la périphérie de l'Europe considérées comme moyen-courriers. Pour nos simulations, elle est définie comme un vol au départ d'un aéroport suisse vers n'importe quelle destination en Europe.
- Vol court-long-courrier** Vol long-courrier avec un transfert après un vol court-courrier. Pour nos simulations, il est défini comme un vol au départ d'un aéroport suisse vers n'importe quelle destination en Europe, mais dont la destination finale est située hors d'Europe.
- Vol de ligne** Vol commercial régulier pour le transport de passagers ou de marchandises.
- Vol personnel** Voyage en avion effectué pour des raisons personnelles, comme un loisir, une visite à des parents, etc.



# Contact

**Philippe Thalmann**

EPFL & E4S

**Pallivathukkal Cherian Abraham**

IMD & E4S

**Marius Brülhart**

HEC & E4S

**Fleance Cocker**

EPFL & E4S

**Nikolai Orgland**

Agence internationale de l'énergie & E4S

**Dominic Rohner**

HEC & E4S

**Michael Yaziji**

IMD & E4S

## À propos de E4S



Enterprise for Society (E4S) est une joint venture de l'Université de Lausanne à travers HEC Lausanne, l'IMD et l'EPFL, sous la direction de son College of Management of Technology, avec pour mission de mener la transition vers une économie plus résiliente, durable et inclusive. E4S a pour mission de former la prochaine génération de leaders, d'inspirer la transformation économique et sociale, et d'activer le changement en renforçant les start-ups et en stimulant l'innovation.

**Prenez contact avec nous**

[info@e4s.center](mailto:info@e4s.center)



<https://e4s.center>



<https://www.linkedin.com/company/enterprise-for-society-e4s>