

Université Libre de Bruxelles

Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire

Faculté des Sciences

Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

**Les effets d'une taxe environnementale sur les émissions
de dioxyde de carbone du secteur aérien**

Cas d'étude : le trafic aérien de passagers en Belgique

Mémoire de Fin d'Études présenté par
COPPÉE, Charlotte
en vue de l'obtention du grade académique de
Master en Sciences et Gestion de l'Environnement
Finalité Gestion de l'Environnement M-ENVIG

Année Académique : 2019-2020

Directeur : Prof. Frédéric Dobruszkes

Promoteur : Bruno Kestemont

Résumé

Afin de limiter l'impact de la croissance du transport aérien sur l'environnement, la taxation des billets d'avion est une option envisageable. Celle-ci peut être réfléchié dans une approche globale de diminution des émissions de l'aviation ; en complément des efforts en cours concernant les améliorations technologiques, l'utilisation de carburants alternatifs, ou encore les systèmes de tarification du carbone. Dans cette optique, ce mémoire étudie trois scénarios de taxation différents afin de mesurer l'impact de chacun sur la demande en transport aérien et les émissions de CO₂ associées. Nos résultats des différents scénarios mènent à la conclusion que pour réduire plus efficacement les émissions de CO₂ du secteur aérien, il vaut mieux taxer (relativement au prix du billet) davantage les vols long-courriers que les vols court-courriers. Ce scénario ayant l'impact le plus important sur les émissions de CO₂ tout en limitant la baisse de la demande aérienne. Par ailleurs, ce mémoire tente de mesurer l'effet social d'une telle mesure sur les différentes catégories sociales en fonction du revenu de la population belge. Néanmoins, une option complémentaire en termes de réduction des émissions liées à l'aviation à ne pas négliger est l'amélioration de la compétitivité des modes de transport alternatifs à l'avion, par le biais du développement de l'offre et la baisse des tarifs, afin d'inciter à un déplacement intermodal sur les segments où celui-ci est possible.

Mots-clés :

transport aérien ; émissions de CO₂ du transport aérien ; taxe carbone ; taxation environnementale ; compensation volontaire ; impact social ; fiscalité ; demande de passagers ; élasticité de la demande

Remerciements

*Merci tout particulièrement à mon promoteur de mémoire,
Monsieur Bruno Kestemont, pour sa disponibilité, son aide précieuse,
ses corrections et ses conseils avisés.*

Merci à ma famille, Julie, Manon, Lucille et Maxime pour leurs soutien, conseils et relectures.

Un merci particulier à mon papa pour son aide constructive, ses conseils et relectures.

*Et enfin je remercie les personnes qui ont répondu à mon questionnaire en ligne me permettant de
réaliser une partie de mon analyse.*

Table des matières

Résumé	2
Remerciements	3
Introduction	6
État de la littérature	8
Action internationale nécessaire	8
Changement de comportement	9
Aperçu des mesures visant à limiter l'impact de l'aviation	10
EU ETS.....	11
CORSIA.....	11
Taxation	12
Origine de la non taxation	12
Fixation du taux de taxation.....	13
Bénéfices de la taxation	14
Définition.....	14
Les taxes basées sur le carbone	15
Substitution du mode de transport.....	16
Opposition à la réglementation	16
Problématique	17
Questions de recherche	17
Aperçu du secteur aérien	18
Demande de passagers	19
Impact des transports sur l'environnement	20
Secteur des transports	20
Secteur du transport aérien	21
Secteur aérien en Belgique	21
L'empreinte carbone de l'aviation	22
Les différents gaz rejetés par les avions.....	22
La consommation des avions	23
Méthodologie	25
Calcul de l'impact d'une taxe sur les émissions de CO₂	25
1. Répartition des vols Intra_Eu / Extra_EU (Annexe 1)	26
2. Distances représentatives des vols Intra_EU et Extra_EU (Annexe 2).....	26
3. Répartition entre les classes de voyage économique et affaires (Annexe 3)	26
4. Élasticité-Prix de la demande (Annexe 4)	27
5. Prix représentatifs pour les billets aller-retour (Annexe 5)	27
6. Émissions CO ₂ équivalent en kg par passager-kilomètres (Annexe 6)	28
7. Taux de taxe envisagés (Annexe 7).....	29
Impact social : estimation de l'impact par classe de revenu (Annexe 9)	30
Enquête (Annexe 10 et 11)	30
Traitement des données	31
Limites relatives à l'enquête	32
Résultats	33

Scénario 1 : montants de taxation appliqués en Allemagne	33
Scénario 2 : taux de taxation proposés dans l'enquête (+5% ; +10%)	33
Scénario 3 : taux de taxation différenciés	34
Impact social : estimation de l'impact par classe de revenu	34
Résultats de l'enquête.....	36
Discussion	42
Conclusion.....	45
Bibliographie	47
Sites internet.....	58
Annexe 1 : Répartition des vols Intra_Eu / Extra_EU.....	59
Annexe 2 : Distances représentatives des vols Intra_EU et Extra_EU.....	60
Annexe 3 : Répartition entre les classes de voyage économique et affaires	61
Annexe 4 : Élasticité-Prix de la demande	62
Annexe 5 : Prix représentatifs pour les billets aller-retour.....	64
Annexe 6 : Émissions CO₂ équivalent en kg par passager-kilomètres	65
Annexe 7 : Taux de taxe envisagés	67
Annexe 8 : Outil de calcul	69
Légende des différentes variables utilisées.....	69
Annexe 9 : Impact social : estimation de l'impact par classe de revenu.....	70
Annexe 10 : Enquête – questionnaire.....	71
Annexe 11 : Enquête - résultats	75

Introduction

Le transport aérien serait responsable d'entre 2 et 3% (selon le consensus scientifique) des émissions mondiales de CO₂ dues aux activités humaines (Jou & Chen, 2015 ; Chiambaretto et al., 2020 ; European Commission, s.d.) et celui-ci est en croissance rapide depuis de nombreuses années (Ozer & Perrin, 2007 ; IATA, 2017 ; Chiambaretto et al., 2020). Ses quantités d'émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial risquent donc de continuer à augmenter si sa croissance n'est pas ralentie. Les problématiques du changement climatique et la protection de l'environnement sont de plus en plus présentes dans l'actualité. Suite au développement de la conscientisation écologique, on a pu observer, par exemple, l'apparition du phénomène « flygskam », ou la « honte de prendre l'avion », en 2018 en Suède (Chiambaretto et al., 2020). Ce sentiment de culpabilité écologique s'est ensuite répandu en Europe et jusqu'aux États-Unis (Wolrath Söderberg & Wormbs, 2019). Le 30 avril 2019, une pétition à l'origine d'une initiative citoyenne a été envoyée à la Commission européenne réclamant la mise en place d'une taxation sur le kérosène pour l'aviation (Morgan, 2019). L'heure est donc à la volonté de diminuer l'impact écologique des activités humaines sur l'environnement, dont celui des transports et plus particulièrement de l'aérien. Celui-ci, tout comme le transport maritime, n'est effectivement pas taxé (OECD, 2019), ce qui représente une forme de concurrence déloyale vis-à-vis des autres moyens de transport.

Depuis de nombreuses années déjà, plusieurs études (Pearce & Pearce, 2000 ; Carlsson, 2002 ; Ozer & Perrin, 2007 ; Brueckner & Zhang, 2010 ; Kisska-Schulze & Tapis, 2012 ; González & Hosoda, 2016 ; Pagoni & Psaraki-Kalouptsidi, 2016 ; Fukui & Miyoshi, 2017 ; Seetaram, Song, Ye & Page, 2018 ; Thalmann, 2019 ; Sonnenschein & Smedby, 2019 ; Scheelhaase, 2019) s'intéressent à la diminution des émissions de gaz à effet de serre du secteur aérien et à la mise en oeuvre potentielle d'une taxe environnementale dans ce dernier. En 2007, Ozer et Perrin mentionnaient déjà la possibilité d'une taxe internationale environnementale en ce qui concerne les billets d'avion. Ils précisait également que les solutions en matière d'environnement devraient être mises en place aussi bien au niveau gouvernemental (via des accords internationaux et des politiques sectorielles) qu'au niveau individuel (par le changement de nos habitudes de consommation). Par ailleurs, divers auteurs ont étudié l'impact d'une taxe ou redevance sur la fréquentation aérienne aux États-Unis (Hofer, Dresner & Windle, 2010 ; Pagoni & Psaraki-Kalouptsidi, 2016), au Japon (González & Hosoda, 2016) ou encore en Suède (Sonnenschein & Smedby, 2019). En 2019, Thalmann s'est questionné sur « comment diminuer les émissions du transport aérien » (Thalmann, 2019, p.3) en se concentrant sur la Suisse. Aucune étude à notre connaissance ne se concentre sur le trafic aérien de passagers en Belgique, comme ce sera le cas de ce mémoire. Ce mémoire s'organise donc autour de deux questions de recherche : quel niveau de taxation sur les billets d'avion aurait l'impact le plus important sur les émissions de CO₂ du

secteur aérien ? Et quel serait l'impact social d'une telle mesure sur les différentes classes de revenu de la population belge ?

Ce mémoire s'intéresse donc à l'étude de l'impact potentiel d'une taxation environnementale sur les émissions de dioxyde de carbone du secteur aérien. Dans un premier temps, un état de la littérature sur l'origine des avantages fiscaux de l'aviation internationale et sur les connaissances actuelles de la recherche sur la taxation environnementale de l'aérien est établi. Puis, les principales caractéristiques de l'impact environnemental de l'aviation sont décrites. La méthodologie employée pour répondre aux questions de recherche est ensuite exposée. Celle-ci est suivie de la présentation des résultats des trois scénarios de taxation envisagés dans le cadre de ce mémoire ; ainsi que les résultats de l'étude sur l'impact social d'une telle taxation sur les différentes catégories de revenu de la population belge. La partie des résultats se termine avec la présentation des observations tirées de l'enquête par questionnaire. Enfin une discussion sur les corrélations et conclusions déduites de l'ensemble des résultats obtenus est présentée en lien avec la littérature sur le sujet. Pour terminer, une conclusion expose les points importants à retenir de cette étude et quelques pistes pour une recherche future en lien avec le sujet.

État de la littérature

Depuis plusieurs années, en raison de la croissance significative et exponentielle du transport aérien, source d'émissions de gaz à effet de serre, l'intérêt pour son impact environnemental grandit (Kisska-Schulze & Tapis, 2012 ; Alonso et al., 2014 ; Jou & Chen, 2015 ; Zhou et al., 2016 ; Gössling et al., 2017 ; ICAO, 2018a ; Chiambaretto et al., 2020). Sans mesure d'atténuation, celui-ci pourrait constituer un facteur majeur du réchauffement climatique dans les années à venir, González & Hosoda (2016) affirme qu'il est à considérer dans les mesures de prévention du réchauffement (González & Hosoda, 2016, p.234 ; Ozer & Perrin, 2007 ; Macintosh & Wallace, 2009 ; Garcia-Sierra, van den Bergh & Miralles-Guasch, 2015, p.288 ; Pagoni & Psaraki-Kalouptsidi, 2016 ; Markham et al., 2018 ; Alonso et al., 2014 ; CE Delft, 2019). Par conséquent, la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur aérien est devenue un défi majeur de l'aviation (Kisska-Schulze & Tapis, 2012 ; Jou & Chen, 2015). L'objectif de moins 2°C de réchauffement par rapport aux niveaux préindustriels à l'horizon 2050 implique de réduire de moitié les émissions du secteur aéronautique (Becken et Mackey, 2017 ; dans Sonnenschein & Smedby, 2019 ; ICAO, 2019c).

Les avantages dont bénéficie l'aviation rend son impact encore plus préoccupant : l'aviation n'est pas soumise à des droits d'accise ordinaires comme les autres carburants de transport, elle bénéficie de privilèges fiscaux (pas de TVA par exemple), ou encore fait l'objet de subventions directes (Keen et al., 2013 ; Gössling et al., 2017 ; Seely, 2019 ; CE Delft, 2019 ; Thalmann, 2019 ; Sonnenschein & Smedby, 2019). Cela a pour résultat des émissions excessives et des pertes de recettes fiscales (Keen, Parry et Strand 2012 ; dans Krenek & Schratzenstaller, 2016 ; CE Delft, 2019).

Afin de limiter les émissions de CO₂, il est nécessaire de mettre en place des mesures qui réduisent efficacement la demande de déplacements et qui stimulent l'innovation (Markham et al., 2018 ; Macintosh & Wallace, 2009, p.264 ; Brüllhart et al., 2020). Divers moyens peuvent être envisagés (Hofer et al., 2010 ; Thalmann, 2019) : les mesures non obligatoires telles que les programmes de compensation volontaire des émissions de CO₂ (Jou & Chen, 2015 ; Zhou et al., 2016 ; Seetaram et al., 2018) ; ainsi que des mesures obligatoires d'imposition fiscale (Kisska-Schulze & Tapis, 2012 ; Seetaram et al., 2018).

Action internationale nécessaire

Le manque d'accord international pour lever des taxes dans le secteur aérien représente un obstacle à l'amélioration de l'environnement (Eskeland & Lindstad, 2016). En effet, la majeure partie des émissions de l'aviation est causée par des activités internationales dont les recettes ne sont pas

attribuables à un pays spécifique (Bofinger & Strand, 2013 ; Keen et al., 2013 ; Krenek & Schratzenstaller, 2016). Ce caractère transfrontalier de l'aviation nécessite une coordination internationale (Pearce & Pearce, 2000 ; De Bosset et al., 2007, p.36 ; Macintosh & Wallace, 2009 ; González & Hosoda, 2016 ; Thalmann, 2019 ; Chiambaretto et al., 2020). De plus, des taxes non harmonisées pourraient avoir des effets de modification d'itinéraires (tant des passagers que des avions), avec un risque d'effet négatif sur les émissions ; ou encore des délocalisations de compagnies aériennes vers des pays à « faible fiscalité » (Pearce & Pearce, 2000 ; Eskeland & Lindstad, 2016 ; Krenek & Schratzenstaller, 2016 ; Kantenbacher et al., 2018 ; Seely, 2019 ; Bofinger et Strand, 2013). Négociée au niveau national uniquement, la politique de l'aviation se heurterait à des problèmes de concurrence entre pays ou compagnies aériennes, autant qu'à l'évasion fiscale (Pearce & Pearce, 2000 ; Carlsson, 2002 ; Krenek & Schratzenstaller, 2016).

Changement de comportement

De nombreuses études se sont penchées sur l'importance de la prise en compte des comportements dans l'élaboration des politiques environnementales afin d'avancer vers une mobilité durable (Avineri, 2012; Metcalfe and Dolan, in press; Steg and Vlek, 2009 ; dans Garcia-Sierra et al., 2015, p.288 ; Jou & Chen, 2015). D'après plusieurs auteurs (Jou & Chen, 2015 ; Seetaram et al., 2018 ; Sonnenschein & Smedby, 2019), afin d'être efficace, la conception de la fiscalité aérienne doit reposer sur la connaissance de la disposition à payer des voyageurs pour ces taxes obligatoires (en anglais WTP, Willingness to pay). Cependant, Sonnenschein & Smedby (2019) expliquent que « la recherche sur le WTP des voyageurs aériens pour l'atténuation du changement climatique s'est jusqu'à présent majoritairement concentrée sur la compensation volontaire des émissions » (Brouwer et al., 2008 ; Choi et Ritchie, 2014; Jou et Chen, 2015; Lu et Shon, 2012; MacKerron et al., 2009, dans Sonnenschein & Smedby, 2019, p.651). Il en ressort que le WTP pour les compensations volontaires serait plus faible que pour les instruments coercitifs (Segerstedt et Grote, 2016; Wiser, 2007 ; dans Sonnenschein & Smedby, 2019, p.652) ; mais que dans les deux cas, il existe un écart attitude-comportement : le WTP pour une surtaxe obligatoire sur les voyages en avion est positive mais les répondants ne veulent tout de même pas porter cette responsabilité (Sonnenschein & Smedby, 2019, p.659 ; Higham et al., 2016 ; Kantenbacher et al., 2018). Enfin, divers paramètres influencent le WTP : les facteurs sociodémographiques, les opinions politiques, la fréquence des vols, les attitudes pro-environnementales (dont il faut étendre la connaissance sur les impacts des émissions aériennes notamment), l'affectation de revenus à l'atténuation de l'impact sur le climat (Jou & Chen, 2015, p.3072 ; Sonnenschein & Smedby, 2019, p.652 ; Seetaram et al., 2018 ; Brühlhart et al., 2020).

Aperçu des mesures visant à limiter l'impact de l'aviation

D'après l'IATA, l'industrie aéronautique tente de « limiter sa contribution au changement climatique » (IATA, 2006 ; Lynes et Dredge, 2006 ; Mak et Chan, 2006 ; dans Priskin, 2007, p.64). Les améliorations technologiques et opérationnelles, telles que l'efficacité énergétique ou l'adoption de carburants alternatifs, sont prometteuses à long terme mais certainement pas suffisantes (Kisska-Schulze & Tapis, 2012 ; Zhou et al., 2016 ; Pagoni & Psaraki-Kalouptsidi, 2016 ; Cui, et al., 2017 ; Thalmann, 2019 ; Duron, 2019 ; Brühlhart et al., 2020). La croissance de la demande dépasse généralement les gains d'intensité d'émissions (Macintosh & Wallace, 2009, p.271). Ces améliorations doivent donc être accompagnées d'instruments fondés sur le marché afin de réduire les émissions à court terme (OCDE, 2007 ; Lee et al., 2013 ; dans Pagoni & Psaraki-Kalouptsidi, 2016 ; Brühlhart et al., 2020).

Chiambaretto et al. (2020) font la synthèse de l'ensemble des mesures mises en place par les acteurs du secteur aérien afin de réduire les émissions de l'aviation :

- *Au niveau institutionnel* : le système européen d'échange de quotas d'émissions (SEQUE) et le programme CORSIA (expliqués plus loin) ;
- *Au niveau des constructeurs* : la recherche et développement, l'amélioration du rendement énergétique des avions, l'optimisation des moteurs et de la conception des avions, les carburants alternatifs ;
- *Au niveau des compagnies aériennes* : l'utilisation croissante de biocarburants entre autres,
- *Au niveau des aéroports* : notamment la mise en place d'accréditations (Airport Carbon Accreditation).

Malgré l'absence de taxation du secteur aérien, il existe la compensation volontaire de carbone (Daley et Preston, 2009 ; dans Sonnenschein & Smedby, 2019). Cependant, cette approche est quelque peu critiquée dans la littérature scientifique notamment en raison de la répercussion des coûts de réduction des émissions par les transporteurs aériens sur les consommateurs (Jou & Chen, 2015 ; Zhou et al., 2016). En outre, elle n'engage à aucun changement de comportement (Kollmuss et Howell 2007 ; Gössling et al. 2007) ; et la qualité des projets de compensation carbone est discutable (Broderick 2008 ; Gössling et al. 2007 ; Polonsky, Grau et Garma 2010 , dans Choi et al., 2016, p.709). D'après Jou & Chen (2015), il faut plutôt responsabiliser les compagnies aériennes et rendre obligatoire l'achat de la compensation carbone en l'intégrant dans le prix du billet (Jou & Chen, 2015, p.3082). Par ailleurs, cette approche est insuffisante pour stabiliser les émissions « à des niveaux compatibles avec les objectifs climatiques sans restreindre la demande » (Macintosh & Wallace, 2009, p.264).

Une des principales stratégies politiques actuelles en faveur de pratiques plus durables est la mise en place de mécanismes de tarification du carbone (Sonnenschein & Smedby, 2019). Celle-ci

oblige « les émetteurs à être financièrement responsables du coût environnemental des émissions » et incite l'investissement vers des technologies bas carbone (Markham et al., 2018, p.207). Des mesures plus larges sont nécessaires pour être efficaces dans la réduction des émissions de CO₂ (Fukui & Miyoshi, 2017 ; Markham et al., 2018).

Une combinaison de différentes méthodes telles que les mécanismes de compensation, la tarification du carbone, les améliorations technologiques, les mesures fondées sur le marché est essentielle pour obtenir de véritables résultats (Jou & Chen, 2015 ; Leclerc, 2017 ; Fukui & Miyoshi, 2017 ; Castaignède, 2019).

EU ETS

Un exemple de tarification du carbone pour l'aviation est le système d'échange de quotas d'émission de l'Union Européenne (SEQUE ; en anglais ETS, Emission Trading Scheme), entré en vigueur en 2005 et qui inclut le trafic aérien (vols intra-européens uniquement) depuis 2012 (Macintosh & Wallace, 2009 ; Bofinger et Strand, 2013). Ce marché du carbone européen attribue gratuitement aux compagnies aériennes un nombre de quotas d'émissions pour l'année ; elles peuvent ensuite acheter des suppléments sur le marché (Hofer et al, 2010 ; Krenek & Schratzenstaller, 2016 ; Anger, 2014 ; dans Markham et al., 2018 ; Spaey, 2017 ; Cui et al., 2017 ; Thalmann, 2019 ; Juprelle, 2020). Le SEQUE a pour objectif de réduire les émissions de GES en constituant un incitatif économique à améliorer les performances techniques (Priskin, 2007 ; Juprelle, 2020). Cependant, 45,5% des émissions sont couvertes grâce aux permis reçus gratuitement et, les prix du carbone étant bas, les transporteurs aériens préfèrent acheter des quotas de carbone plutôt que d'investir pour réduire les émissions (Fukui & Miyoshi, 2017, p.237 ; Juprelle, 2020). Afin de donner un signal-prix du carbone important, il est nécessaire de mettre en place une « conception ETS plus restrictive » (Fukui & Miyoshi, 2017, p.237 ; Sonnenschein & Smedby, 2019 ; Juprelle , 2020 ; Markham et al., 2018).

CORSIA

L'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a mis en place, en 2016, un instrument de protection du climat CORSIA, *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*, représentant le premier mécanisme basé sur le marché qui couvre un secteur international entier (Markham et al., 2018). Son objectif de croissance neutre en carbone se caractérise par la stabilisation des émissions mondiales de l'aviation à partir de 2020 (Sonnenschein & Smedby, 2019 ; FNAM, 2020). A partir de 2021, les compagnies aériennes devront donc compenser leurs émissions de CO₂ dépassant le niveau de 2020 avec l'achat de droits d'émissions (Thalmann, 2019). Cependant, ce mécanisme présente divers problèmes : la participation est volontaire jusqu'en 2027, un nombre important

d'émissions n'est pas compensé puisqu'il ne couvre que les émissions dépassant les niveaux de 2020, uniquement le CO₂ est pris en compte et pas les autres effets de réchauffement, et des doutes subsistent concernant la qualité des compensations (Thalmann, 2019).

Taxation

Afin de réguler le volume des transports aériens, en plus des politiques de type « cap-and-trade », les décideurs politiques peuvent choisir un instrument de prix, c'est-à-dire la taxation (Brülhart et al., 2020). Les études sur l'impact d'une taxation sur les émissions de CO₂ des avions (Hofer et al., 2010; Brueckner et Zhang, 2010; Czerny, 2015 ; Pagoni & Psaraki-Kalouptsidi, 2016 ; Fukui & Miyoshi, 2017) concluent majoritairement qu'une taxation sur le transport aérien impacte positivement les émissions correspondantes, celle-ci est « un moyen efficace de compenser les externalités environnementales et d'ajuster les flux » (Seetaram et al., 2018, p.85). Effectivement, la mise en place d'un régime fiscal résulte souvent en une hausse des prix des billets (afin de maximiser les profits) suivie d'une baisse de la demande influençant l'offre aérienne (dont le nombre de vols), et ainsi cela réduit les émissions (Carlsson, 2002 ; Hofer et al., 2010 ; Brueckner et Zhang, 2010 ; Pagoni & Psaraki-Kalouptsidi, 2016 ; Zhou et al., 2016 ; Krenek & Schratzenstaller, 2016 ; González & Hosoda, 2016 ; Cui et al., 2017 ; CE Delft, 2019). Par ailleurs, les taxes sur le trafic aérien devraient également inciter à réduire la consommation de carburant (donc les émissions) en utilisant des avions plus efficaces, des carburants moins polluants, en maximisant la charge des avions, et en évitant les distances très courtes et très longues particulièrement gourmandes en carburant (Tol, 2007, dans Keen, Parry et Strand 2012).

Les décisions politiques du secteur aérien sont basées sur des objectifs économiques (Lohest & Aubin, 2012). La mise en place de taxes peut envoyer un signal prix soit aux compagnies aériennes et les inciter à réduire leurs émissions ; soit aux voyageurs et affecter leurs comportements (Brueckner et Zhang, 2010 ; Kisska-Schulze & Tapis, 2012 ; Markham et al., 2018).

Origine de la non taxation

L'exemption de taxes sur le carburant pour les vols internationaux découle d'un accord international datant de 1944, la Convention de Chicago sur l'aviation civile internationale, qui visait à promouvoir l'aviation civile alors émergente (Krenek & Schratzenstaller, 2016). Cependant, elle n'interdit pas la taxation du kérosène consommé dans un autre État, uniquement la taxation du carburant restant dans les réservoirs d'un avion à son arrivée dans un autre État (article 24) (Priskin, 2007 ; Keen, Parry & Strand, 2013 ; Leclerc, 2017 ; Transport & Environnement, 2019 ; Seely, 2019 ; CE Delft, 2019). Par ailleurs, « rien dans l'article 15 n'empêche spécifiquement un État d'imposer des taxes « à ses propres compagnies aériennes pour les activités se déroulant sur son territoire [national] » (Kisska-Schulze & Tapis, 2012, p.733). Néanmoins, en 1998, CE Delft (1998) affirmait que des redevances

environnementales pouvaient être introduites dans le contexte de la Convention de Chicago (Pearce & Pearce, 2000).

D'après l'article 2.2 du Protocole de Kyoto, l'OACI était responsable de la limitation des émissions de l'aviation internationale. Cependant, au lieu d'être traitées dans le cadre de la Convention de Chicago, elles le sont par le biais de la CCNUCC (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques) (Macintosh & Wallace, 2009, p.265). Pour cette raison, les émissions de l'aviation intérieure doivent être incluses dans les totaux nationaux des émissions ; alors que les émissions de l'aviation civile internationale en sont exclues et "ne sont déclarées que dans les rapports d'inventaire nationaux de la CCNUCC en tant qu'éléments pour mémoire" (Macintosh & Wallace, 2009, p.265 ; Belgium's Greenhouse gas inventory, 2020, p.63). En outre, l'Accord de Paris de 2015 ne couvre pas le transport aérien (ICAO, 2015).

Depuis 2003, les États membres de l'Union Européenne peuvent taxer le carburant pour l'aviation intérieure ou pour les vols extérieurs s'il y a un accord bilatéral avec l'autre État membre concerné (directive 2003/96 / CE) (Keen, Parry & Strand, 2013 ; Transport & Environnement, 2019 ; Seely, 2019 ; CE Delft, 2019). Cependant, cela n'est appliqué dans aucun État membre, alors que le kérosène est taxé sur les vols intérieurs dans plusieurs pays hors UE (notamment Canada, États-Unis, Australie, Japon, Arabie Saoudite) (Transport & Environnement, 2019 ; CE Delft, 2019). La TVA n'est pas une véritable taxe environnementale, mais peut tout de même influencer la demande de billets d'avion ou de carburant en fonction de l'augmentation de prix qu'elle induit (Keen, Parry et Strand 2012 ; dans Krenek & Schratzenstaller, 2016). En outre, actuellement, uniquement les émissions de CO₂ sont réglementées (Scheelhaase, 2019).

Fixation du taux de taxation

Malgré sa difficulté, le montant d'une taxe sur l'aviation à des fins environnementales se doit d'être déterminé correctement (De Bosset et al., 2007 ; Seetaram et al., 2018), et cela en tenant compte de divers paramètres (Sonnenschein & Smedby, 2019 ; Krenek & Schratzenstaller, 2016 ; Seetaram et al., 2018 ; Chiambaretto et al., 2020) :

- les types d'avion et distances de déplacement,
- les classes de voyage : billets économiques, affaires et première classe,
- « la nature multi-polluante du transport aérien et des conditions localisées dans lesquelles certaines des externalités se produisent » (nuisances sonores et pollution atmosphérique) (Pearce & Pearce, 2000, p.5),
- la tolérance potentielle du marché.

Sonnenschein & Smedby (2019) précisent qu'afin d'éviter le risque de déplacement des passagers des aéroports nationaux vers les aéroports étrangers, il faut maintenir un taux de taxation relativement faible. Celui-ci doit internaliser les coûts externes d'un vol afin d'avoir un véritable impact sur les émissions de CO₂, en raison d'une faible élasticité-prix de la demande de carburant (Olsthoorn, 2001 ; Priskin, 2007 ; Krenek & Schratzenstaller, 2016). Cependant, Thalmann (2019) indique que recourir à la taxe sur les billets pour décourager les déplacements en avion est controversée : « si elle est fixée à un niveau justifié par l'internalisation des seuls coûts liés aux effets sur le climat des émissions de CO₂, elle sera trop faible pour réellement décourager les voyageurs » (Thalmann, 2019, p.4).

D'autres propositions suggèrent des taux de taxe progressifs qui augmentent avec la fréquence des vols, style *Frequent Flyer Levy* (Burghouwt et al., 2016; Devlin & Bernick, 2015 ; Krenek et Schratzenstaller, 2016 ; Chancel et Piketty, 2015 ; dans Sonnenschein & Smedby, 2019) ; ou encore, un **budget individuel** annuel pour les déplacements en avion (Thalmann, 2019).

Bénéfices de la taxation

Du point de vue de l'atténuation du climat, la taxe oblige les voyageurs à payer, ce qui en fait un instrument bénéfique (Sonnenschein & Smedby, 2019 ; CE Delft, 2019). Elle peut de cette manière faire changer les comportements afin de diminuer le recours à l'avion ; et générer des revenus pour la recherche et développement afin d'atténuer le changement climatique (Pearce & Pearce, 2000 ; Sonnenschein & Smedby, 2019 ; CE Delft, 2019 ; Chiambaretto et al., 2020). L'efficacité d'un régime fiscal repose majoritairement sur l'utilisation des revenus en faveur de l'atténuation du climat, pouvant également accroître l'acceptation du public (Pearce & Pearce, 2000 ; Sonnenschein & Smedby, 2019, p.660 ; González & Hosoda, 2016).

Définition

L'OACI définit une taxe comme « un prélèvement conçu pour percevoir des recettes destinées aux pouvoirs publics nationaux ou locaux qui ne sont généralement affectées à l'aviation civile ni en totalité ni en fonction de coûts précis » (OACI, 2012, dans Leclerc, 2017, p.106). Leur objectif est donc d'augmenter les revenus (Pearce & Pearce, 2000).

Malgré les exemptions évoquées précédemment, diverses taxes existent tout de même au sein de l'industrie aérienne telles que : les taxes sur le carburant, sur les billets, les taxes de départ et d'arrivée, la taxe de solidarité, ainsi qu'une multitude de frais (Kisska-Schulze & Tapis, 2012 ; Leclerc, 2017 ; CE Delft, 2019 ; De Bosset et al., 2007). Elles ne sont pas forcément instaurées avec un objectif environnemental mais impactent tout de même les émissions (Leclerc, 2017 ; CE Delft, 2019). D'après l'étude CE Delft (2019), si toutes les taxes présentes en Europe concernant le secteur aérien étaient supprimées, la demande augmenterait de 4%, autant que les émissions de CO₂. Krenek &

Schratzstaller (2016) distinguent dans le tableau ci-dessous « les taxes spécifiques conventionnelles qui ne prennent pas systématiquement en compte les émissions » (et ne captent donc « qu'une fraction des coûts externes des émissions de gaz à effet de serre ») et « les taxes spécifiques basées sur le carbone qui prennent en compte l'intensité des émissions du vol » (Krenek & Schratzenstaller, 2016, p.9).

Table 2: Environmental Effectiveness of Various Options for Aviation Taxes

Tax instrument	Tax base	Taxable person/entity	Real incidence	Incentive to reduce fuel use	Incentive to maximise load of aircraft	Incentive to reduce number of flights ¹⁾	Incentive to avoid very short and very long distances	Incentive to change fuel mix	Susceptible to tax competition	Environmental effectiveness
Flight ticket tax	per flight ticket	passenger	passenger	no	no	yes	yes/no	no	yes	weak
Seat tax	per seat	airline	airline/passenger	no	yes	no	no	no	no	weak
Flight tax	per aircraft	airline	airline/passenger	no	no	yes	no	no	no	weak
Fuel tax	per litre of fuel	airline	airline/passenger	yes	yes	yes	no	no	yes	high
Carbon-based flight ticket tax	per carbon emissions per flight ticket	passenger	passenger	no	no	yes	yes	no	yes	medium
Carbon-based fuel tax	per carbon emissions per litre of fuel	airline	airline/passenger	yes	yes	yes	yes	yes	yes	high
VAT on flight tickets	per flight ticket	airline	airline/passenger	no	no	yes	no	no	yes	medium
VAT on fuel	per litre of fuel	airline	airline/passenger	yes	yes	yes	yes	no	yes	medium

Source: own. – ¹⁾ Number of flights demanded by passengers or number of flights supplied by carriers.

Source : Krenek & Schratzenstaller, 2016, p.11

Les taxes basées sur le carbone

Les taxes sur le carburant d'aviation et sur les billets d'avion basées sur le carbone, par la fixation d'un prix sur les émissions du vol ou son utilisation de carburant, semblent les plus efficaces pour poursuivre les objectifs environnementaux (Keen et al., 2013 ; Transport & Environnement, 2019 ; Krenek & Schratzenstaller, 2016 ; Spaey, 2017 ; González & Hosoda, 2016 ; dans Sonnenschein & Smedby, 2019, p.660). La taxe sur les carburants permet une bonne prise en compte du volume des émissions (OCDE, 2007). La taxe sur les billets, quant à elle, est moins efficace car n'encourage pas l'innovation (Krenek & Schratzenstaller, 2016 ; Leclerc, 2017 ; Sonnenschein & Smedby, 2019) ; mais contrairement à la taxe sur le carburant, « elle n'est pas interdite par des accords internationaux tels que la Convention de Chicago » (Krenek & Schratzenstaller, 2016, p.30). Un autre aspect qui diffère entre

les deux types de taxe est le fait que la taxe sur les billets est imposée à tous les passagers aériens au profit du gouvernement (CE Delft, 2019) ; alors que la taxation du carburant est à destination des compagnies aériennes, pouvant par ailleurs répercuter ce coût sur les passagers, divisant de cette manière la charge entre le transporteur et les passagers (Krenek & Schratzenstaller, 2016).

Substitution du mode de transport

Une taxe est en général plus efficace sur les vols long-courriers en raison d'une demande moins élastique et de plus faibles possibilités de substitution intermodale (InterVISTAS, 2007 ; De Bosset et al., 2007 ; Brühlhart et al., 2020). Les passagers sont effectivement plus sensibles au prix pour les vols court-courriers, lorsque d'autres modes de transport sont disponibles, et en classe économique (« les voyages privés étant souvent plus flexibles que les voyages d'affaires ») (InterVISTAS, 2007 ; Brühlhart et al., 2020, p.4 ; Burghouwt et al., 2016 ; Krenek & Schratzenstaller, 2016). En outre, l'exonération du secteur aérien crée des situations de désavantage concurrentiel par rapport aux autres modes de transport, notamment le transport ferroviaire dont les dommages environnementaux sont beaucoup plus faibles (Keen, Parry et Strand 2012 ; dans Krenek & Schratzenstaller, 2016 ; Devlin & Bernick, 2015 ; González & Hosoda, 2016).

Par conséquent, l'ajout de taxes sur le billet d'avion peut conduire à une substitution du mode de transport, affectant les émissions associées à ces modes de transport (Hofer et al., 2010 ; Kisska-Schulze & Tapis, 2012, p.736 ; Eskeland & Lindstad, 2016 ; Fukui & Miyoshi, 2017). Effectivement, cette baisse de la demande ne correspond pas à une réduction proportionnelle des émissions de CO₂ ; particulièrement pour les trajets de courte distance, pour lesquels le transport aérien est en concurrence avec le transport terrestre (Burghouwt et al., 2016 ; Pagoni & Psaraki-Kalouptsidi, 2016 ; Krenek & Schratzenstaller, 2016 ; Fukui & Miyoshi, 2017). Les gains environnementaux de la taxation des émissions de carbone du transport aérien sont donc réduits par les augmentations potentielles sur d'autres marchés (Hofer et al., 2010 ; Cui et al., 2017). Hofer et al. (2010) recommandent aux décideurs politiques d'envisager une approche globale des politiques environnementales, considérant simultanément les différents modes de transport.

Opposition à la réglementation

Hofer et al. (2010) expliquent qu'un désaccord existe sur l'importance d'une taxation sur les émissions de CO₂ du secteur, dont certains rappellent la faible participation du secteur aérien aux émissions mondiales de GES, de l'ordre de 3-5%. L'industrie aéronautique craint des effets négatifs sur le secteur de l'aviation, notamment au niveau de la finance des compagnies, ainsi que pour les industries associées comme le tourisme (Pearce & Pearce, 2000 ; Macintosh & Wallace, 2009 ; Gössling et Cohen, 2014 ; dans Kantanbacher et al., 2018).

Problématique

De nombreuses recherches sur ce sujet se sont surtout intéressées à l'impact de telles mesures sur les émissions du trafic aérien intérieur de passagers à l'échelle nationale (Zhou et al., 2016 ; González et Hosoda, 2016 ; Hofer et al., 2010 ; Fukui & Miyoshi, 2017). Une étude à l'échelle de la Belgique n'est cependant pas pertinente étant donné la quasi inexistence du trafic domestique dans le pays. Il existe plusieurs études examinant l'impact d'un type de taxation sur les émissions de CO₂ (Hofer et al., 2010 ; Brueckner et Zhang, 2010 ; Czerny, 2015 ; Pagoni & Psaraki-Kalouptsidi, 2016 ; Fukui & Miyoshi, 2017). CE Delft (2019) analyse quant à elle les divers impacts des taxes ou exonérations fiscales (certaines non environnementales) à l'échelle de l'Union Européenne. Krenek & Schratzenstaller (2016) expliquent que la taxation des billets d'avion est plus facile à mettre en place pour inciter la diminution du recours au transport aérien la TVA sur les vols internationaux ou la taxe du kérosène, qui nécessiteraient une négociation des accords internationaux (Sonnenschein & Smedby, 2019, p.652). Par ailleurs, excepté l'étude de Lohest & Aubin (2012) sur la régulation du secteur aérien en Belgique, concluant à une forte contradiction entre la logique commerciale et économique de développement du secteur et les exigences environnementales de plus en plus importantes. Aucune étude à notre connaissance ne se concentre sur la durabilité du secteur aérien en termes de fiscalité en Belgique, qui n'applique actuellement aucune taxe sur l'aviation. Cette étude essaie donc de recueillir des informations sur la disposition des gens à payer un supplément en faveur de l'environnement sur leur billet d'avion et étudie plusieurs scénarios de taxe sur les billets d'avion afin de mesurer les impacts associés sur le trafic aérien de passagers au départ de la Belgique.

Questions de recherche

Notre hypothèse de recherche suppose que la mise en place d'une taxation environnementale sur les billets d'avion, en augmentant les prix des billets, fera diminuer la demande de transport aérien impliquant une diminution des émissions associées. Mais quel niveau de taxation sur les billets d'avion aurait l'impact le plus important sur les émissions de CO₂ du secteur aérien ? En outre, l'instauration d'un régime fiscal implique de se pencher sur son effet social. Quel serait l'impact social d'une telle mesure sur les différentes classes de revenu de la population belge ?

Aperçu du secteur aérien

L'aviation civile internationale est composée de l'aviation commerciale et générale, nous allons nous concentrer dans ce mémoire sur le transport civil de passagers au sein de l'aviation commerciale, comprenant le trafic de passagers régulier international et domestique.

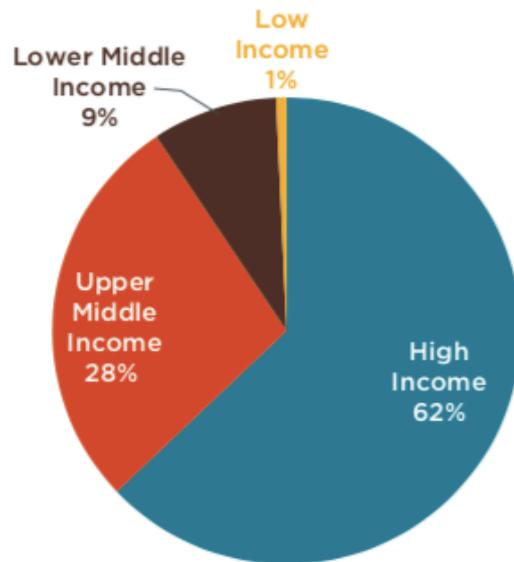
L'aviation a transporté plus de 4 milliards de passagers aériens en 2018 (dont plus de 34 millions en Belgique d'après Eurostat), il s'agit d'une augmentation de 6,3% par rapport à 2017, avec une moyenne de 5% d'augmentation annuelle depuis 1995 d'après l'OACI (Mazareanu, 2020 ; ICAO, 2019a ; ICAO, 2019b ; Guillermand, 2019 ; IATA, 2019 ; Teter, 2020). De plus, Laurent Castaignède (ingénieur de l'Ecole Centrale de Paris) affirme que le trafic aérien mondial s'est multiplié par 100 de 1950 à 2000 (Castaignède, 2019). L'OACI et l'IATA prévoient un doublement du nombre de passagers qui atteindrait 8,2 milliards en 2037 (et jusqu'à 16 milliards en 2050), tiré par la région Asie-Pacifique majoritairement (Guillermand, 2019 ; IATA, 2018 ; Mazareanu, 2020). Également, l'ICAO s'attend à un triplement des émissions de CO₂ de l'aviation pour 2050 (ICAO, 2019a ; dans Graver et al., 2019). La croissance mondiale actuelle de l'aviation s'explique généralement par l'augmentation du nombre de transporteurs low cost, la croissance de la classe moyenne mondiale (en Chine particulièrement), la croissance de la capacité des infrastructures aéroportuaires mondiales, menée par la région Asie-Pacifique (ICN, 2019 ; Mazareanu, 2020).

Table 1. CO₂ emissions from passenger transport in 2018, by operations

Operations	Departures		RPKs		CO ₂	
	Million	% of total	billions	% of total	[MMT]	% of total
Domestic	25	67	3,115	37	296	40
International	13	33	5,388	63	451	60
Total	38	100	8,503	100	747	100

Source: Graver et al., 2019

En 2018, 31% du nombre total de passagers dans le monde a voyagé avec des transporteurs low-cost (ICAO, 2019a) et 35% du trafic mondial était du trafic intérieur (IATA, 2019 ; Graver et al., 2019 ; ICAO, 2018a), correspondant à un tiers des RPK totaux et à 40% des émissions de CO₂ du secteur aérien. L'Europe représentait 26,3% du trafic mondial (avec une hausse de 7,2%) en 2018 (ICAO, 2019a).



Source : Graver et al., 2019, Émissions de CO₂ estimées par l'ICCT par tranche de revenu du pays d'origine

D'après l'International Energy Agency (IEA), « les 16% de la population mondiale dans la tranche de revenu la plus élevée représentent 62% des émissions de CO₂ de l'aviation » (Teter, 2020). Les pays les moins développés, couvrant la moitié de la population mondiale, ne représentaient que 9% du CO₂ résultant du transport de passagers aériens en 2018, tel que le montre la figure 2, qui représente « la répartition des émissions de CO₂ de l'aviation de passagers en 2018 entre les tranches de revenu définies par la Banque mondiale » (Graver et al., 2019, p.7 ; Teter, 2020). Cela montre que plus le PIB d'un pays est élevé et plus le nombre de voyages en avion est grand (Alonso et al., 2014 ; De Bosset et al., 2007). L'élasticité de la demande aérienne dépend donc également du niveau de richesse d'un pays. De Bosset et al. (2007) affirment que les « citoyens des économies en transition » sont plus sensibles à des hausses du prix du transport que les habitants des pays ayant un PIB plus élevé (De Bosset et al., 2007, p.41).

Demande de passagers

Tout d'abord, la demande est définie par l'OCDE comme :
 « La demande représente l'activité totale de transport ou l'ensemble des mouvements de personnes et de marchandises effectués au sein d'une économie. Elle se mesure en voyageurs/kilomètres et en tonnes/kilomètres. Une diminution de la demande qui n'influe pas sur les autres impacts entraîne une réduction proportionnelle des émissions de CO₂ » (OCDE, 2007).

Le voyageur/kilomètre, appelé aussi passager-kilomètre payant (PKP) ou revenue passenger-kilometre (RPK) en anglais, est la mesure généralisée par l'OACI qui permet de mesurer le volume de

transport et correspond « au nombre de kilomètres parcourus par tous les passagers payants » (Termium, 2020) ; ou plus simplement : “un passager-kilomètre est égal à un passager transporté sur un kilomètre” (Macintosh & Wallace, 2009, p.264). On est passé de 30 milliards de kilomètres-passagers en 1950 (Manceau, 2019) à plus de 8.000 milliards en 2018 (augmentation de 6,7% par rapport à 2017) (Graver, Zhang & Rutherford, 2019 ; ICAO, 2019a).

Impact des transports sur l’environnement

Secteur des transports

Tout d’abord, à l’échelle mondiale, la transport routier continue de représenter trois quart des émissions des transports, même si les émissions de l’aviation croissent à une vitesse supérieure dernièrement (Teter, 2020). En Europe, les émissions de GES pour le secteur des transports comprenant l’aviation, excepté les émissions maritimes, s’élèvent à 1 milliard de tonnes de CO₂ équivalent en 2018 (EEA, 2019). Le transport routier représente 73 % des émissions de CO₂ du secteur des transports, et l’aviation 14 % des émissions totales européennes (142 MTM) en 2018 (Graver et al., 2019 ; EEA, 2019 ; Metenier, 2019). Par ailleurs, le tableau ci-dessous (Eurocontrol, 2019) nous montre également que depuis les années 2000, les émissions de CO₂ liées au transport ferroviaire sont constantes (100 millions de tonnes de CO₂) ; ayant donc un impact moindre que le transport routier de passagers ou encore l’aviation sur l’environnement.

EMISSIONS DE CO₂ DU SECTEUR DES TRANSPORTS PAR MODE DE TRANSPORT

(EN MILLIARDS DE TONNES)

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

Source : Agence internationale de l’énergie

Source : Eurocontrol, 2019

Secteur du transport aérien

Avant tout, tel que Macintosh & Wallace (2009) le mentionnent, des différences existent dans les données et estimations des émissions de CO₂ du secteur aérien selon la source. Les émissions ne mentionnent pas toujours ce qu'elles comprennent et qui peut varier d'une source à l'autre (trafic aérien total, cargo compris ou non par exemple).

En 2017, « l'aviation internationale était responsable de la plus forte augmentation en pourcentage des émissions de gaz à effet de serre par rapport aux niveaux de 1990 (+129%) » (EEA, 2019). Les émissions totales mondiales de dioxyde de carbone (CO₂) de l'aviation civile internationale s'élevaient à 400 millions de tonnes métriques (MTM) en 1990 (Agence internationale de l'énergie (AIE), 2007b, c; GIEC, 1999; Kim et al., 2005 ; dans Macintosh & Wallace, 2009, p.267) atteignant 747 MTM de CO₂ en 2018 pour les transport de passagers, c'est-à-dire 81% du total des émissions de l'aviation commerciale mondiale (y compris le transport de marchandises) (Graver, et al., 2019 ; Eurocontrol, 2019). Les vols intra-européens ont émis 67 MMT de CO₂ (équivalent à 9% des émissions mondiales de passagers) (Graver et al., 2019). D'après Graver et al. (2019), chacune des catégories de distance des vols (court-courrier, moins de 1.500 km ; moyen-courrier, de 1.500 à 4.000 km ; long-courrier, plus de 4.000 km) correspond à un tiers des émissions totales de CO₂ de l'aérien (Graver et al., 2019) et 5% des émissions internationales totales correspondent aux vols de moins de 500 km, ceux-ci émettent donc environ « deux fois plus de CO₂ par passager-kilomètre que les vols plus longs ». Les émissions de l'aviation correspondent à 3% des émissions de gaz à effet de serre totales en Europe (CE Delft, 2019).

Secteur aérien en Belgique

En Belgique, l'aviation domestique est négligeable, comme le montrent les chiffres de répartition entre les différents modes de transport de la consommation d'énergie intérieure équivalent à 21,5% ; dont 20,6% pour le transport routier, 0,4% de transport ferroviaire, 0,4% de navigation domestique et 0,0% d'aviation domestique (Eskeland & Lindstad, 2016, p.81). Les émissions de GES et de CO₂ pour le secteur des transports, comprenant l'aviation mais pas les émissions maritimes, ont augmenté de 28% en Belgique de 1990 à 2017 (EEA, 2019 ; Crippa et al., 2019). « Les émissions de l'aviation internationale ont augmenté de 56% en 2018 depuis 1990 » (Climat.be, 2020). Outre cela, le cargo en Belgique est relativement important. « Selon l'AEE (2017), le pourcentage de vols de fret en Europe représentait 3,5% du nombre total de vols en 2015, mais était de 12% en Belgique (CE Delft, 2019, p.61). La demande de billets d'avion a fortement progressé pendant la période 2010-2018, tant en Belgique (+50,0 %) qu'au niveau mondial (+62,3 %) (ICN, 2019, p.49). L'ICN affirme que les prix des

voyages aériens vers des destinations européennes en Belgique ont augmenté les dernières années, alors que les voyages lointains ont diminué de prix (ICN, 2019, p.7).

L’empreinte carbone de l’aviation

L’impact environnemental de l’aviation dépend de divers paramètres tels que : la demande de trafic aérien, le nombre de vols, les améliorations technologiques, la congestion, voire l’emplacement des aéroports (Pearce & Pearce, 2000 ; Carlsson, 2002 ; Zhou et al., 2016). Divers facteurs rendent difficile la mesure de l’empreinte carbone de l’aviation : la multiplicité des gaz à effet de serre résultant des émissions des avions ; ainsi que « la difficulté de calculer réellement le potentiel de réchauffement planétaire (ou « forçage climatique ») des émissions de gaz à effet de serre » (Macintosh & Wallace, 2010 ; Bofinger et Strand, 2013, p.3). En outre, les effets climatiques des multiples gaz rejetés diffèrent : le carbone a un impact modéré mais de longue durée ; alors que les autres gaz, tels que le NO_x ou les traînées, ont des effets plus puissants mais à court terme. Par ailleurs, certains parlent d’une potentielle amplification de l’effet de forçage des émissions rejetées en haute altitude par rapport à celles rejetées au sol (Pearce & Pearce, 2000 ; Bofinger & Strand, 2013) ; mais cela ne serait vrai que pour les dérivés des NO_x (ozone, méthane) (Pearce & Pearce, 2000 ; Bofinger et Strand, 2013 ; Fahey & Lee, 2016 ; dans Scheelhaase, 2019 ; Lombard, 2020). Les impacts de l’aviation sont transfrontaliers ayant lieu à différents niveaux : local, régional et mondial (Pearce & Pearce, 2000).

Le forçage radiatif « exprime la perturbation dans l’équilibre énergétique du système atmosphérique de la Terre, en watts par mètre carré (W m⁻²) » (GIEC, 1999). « Un nombre positif indique un effet de réchauffement, un nombre négatif indique un agent de refroidissement » (GIEC, 2001 ; dans Macintosh & Wallace, 2009 ; Courbe, 2019). En 1999, le GIEC calculait le forçage radiatif de l’aviation civile à +0,05 Wm⁻², représentant “environ 3,5% du forçage radiatif total d’origine anthropique en 1992” (GIEC, 1999, p.9 ; Pearce & Pearce, 2000, p.19). Le même taux est affirmé par Lee (2009) pour l’année 2005, mais variant de 3,5% à 4,9% en fonction de l’inclusion ou non des autres gaz (Lee et al., 2009 ; ICAO 2010, dans Alonso et al., 2014, p.85 ; Courbe, 2019 ; Scheelhaase, 2019).

Les différents gaz rejetés par les avions

Le carburant des avions est le kérosène, étant un dérivé du pétrole, il rejette des émissions polluantes (Guillermard, 2019). Ces différents gaz sont (Pearce & Pearce, 2000 ; De Bosset et al., 2007 ; Hofer et al., 2010 ; IPCC, 1999 ; dans Macintosh & Wallace, 2009) :

- le dioxyde de carbone (CO₂) : le plus important gaz émis par les avions
- l’oxyde d’azote (NO_x) : formant de l’ozone (O₃)
- les oxydes de soufre (SO_x) : formant des particules de sulfate

- la vapeur d'eau (H₂O) : provoquant des traînées de condensation
- le monoxyde de carbone (CO)
- les composés organiques volatiles (COV)
- les particules fines (PM) : influant directement sur la formation des nuages

La consommation des avions

Les émissions de l'aviation civile internationale sont définies comme «les émissions des vols partant d'un pays et arrivant dans un pays différent » (GIEC, 2006, p. 3.58 ; dans Macintosh & Wallace, 2009, p.265). Les émissions de l'aviation intérieure sont définies comme « les émissions provenant du trafic civil de passagers et de marchandises qui part et arrive dans le même pays » (GIEC, 2006, p. 3.58 ; dans Macintosh & Wallace, 2009, p.265). D'après Laurent (2018), « depuis le premier avion à réaction, les émissions de CO₂ par siège kilomètre ont diminué de 80% » (Laurent, 2018).

L'empreinte carbone d'un passager dépend de diverses caractéristiques : la classe de voyage, le temps de vol, le type d'avion. Les émissions moyennes de carbone par passager/kilomètre sont presque le double en classe affaires qu'en classe économique (Bofinger et Strand, 2013 ; dans Seetaram et al., 2018).

L'intensité énergétique, permettant de mesurer l'efficacité énergétique, est définie de la manière suivante :

« L'intensité énergétique est représentée par la quantité d'énergie nécessaire pour faire parcourir un kilomètre par un voyageur ou une tonne de marchandises. Elle se mesure en mégajoules (MJ) par tonne/kilomètre ou voyageur/kilomètre. La réduction de la consommation des véhicules (quantité de carburant consommée par kilomètre) et l'augmentation du taux de chargement (qui optimise l'exploitation de la capacité de transport des véhicules) permettent de réduire l'intensité énergétique. La diminution de l'intensité énergétique génère des économies d'énergie. Etant donné que quasi toute l'énergie consommée dans le secteur des transports produit du CO₂, une réduction de l'intensité énergétique ne peut que déboucher sur une réduction des émissions. » (OCDE, 2007)

« Un avion moyen (bimoteur, 150 passagers) consomme 2.700 kg de kérosène à l'heure » (European Aviation Environmental Report, 2016). En 2017, d'après Eurocontrol, la consommation de kérosène moyenne par passager pour 100 km était de 3,4 L/100km, contre 4,4 L/100 km en 2005 (Thalmann, 2019 ; Eurocontrol, 2019 ; Teter, 2020). L'efficacité énergétique diminue de 2% en moyenne chaque année, « mais le nombre de passagers augmente de 4 à 5 % par an au niveau mondial, si bien que la consommation de kérosène croît de 3,6 % » (Thalmann, 2019, p.3 ; Eurocontrol, 2019).

Le taux d'occupation moyen des passagers a atteint 82% en 2018 (OACI, 2019a, dans Teter, 2020 ; IATA, 2019).

Une tonne de CO₂ par passager représenterait environ un aller-retour Paris New-York en avion, d'une distance de plus ou moins 12.000 km (A/R) (Baudry, 2009, p.143 ; DTA, s.d.). Afin de tenir compte du forçage radiatif des gaz non CO₂, il faut appliquer un indice de forçage radiatif de 2 aux émissions de CO₂ par passager (MyClimate, 2019). D'après Graver et al. (2019), en 2018, « les avions mondiaux ont émis en moyenne 88 g de CO₂ / RPK (intensité carbone) » (p.6)

Selon la distance parcourue, la consommation de carburant varie en fonction de facteurs propres à cette distance à parcourir. Les vols régionaux de 500 km ou moins et les court-courriers, même si la distance est relativement courte donc moins consommatrice, le carburant supplémentaire utilisé pour le décollage devient relativement important par rapport au segment de croisière (Graver et al., 2019). Concernant les vols longue distance, un facteur supplémentaire qui impacte la consommation de kérosène d'un avion est la charge importante de kérosène au décollage (quantité nécessaire pour parcourir la longue distance) qui rend les avions plus lourds au décollage, donc qui consomme plus ; cependant, à partir d'une certaine distance, cet effet s'atténue (Graver et al., 2019).

Le calcul des émissions moyennes réelles de GES par distance parcourue se base sur la consommation de kérosène des avions et dépend de plusieurs paramètres (Thalmann, 2019 ; Bofinger et Strand, 2013 ; Pearce & Pearce, 2000 ; Spaey, 2017 ; Scheelhaase, 2019) :

- la classe de voyage : classe économique, classe affaires et première classe ;
- les facteurs de charge (qui diffèrent selon la classe et sont souvent plus remplis en classe économique) ; c'est-à-dire les « coefficients de remplissage » (qui représentent le taux auquel les sièges disponibles sont effectivement occupés sur un vol donné) ;
- les facteurs de poids (agissant dans une plus faible mesure, le poids du passager et de ses bagages) ;
- d'autres facteurs spécifiques au vol (comme l'altitude moyenne, le temps ou la distance du vol, l'atterrissage et le décollage étant fort impactants) ;
- les types d'avion (qui font varier la consommation de carburant des avions).

Méthodologie

Afin d'évaluer les impacts d'une taxation sur les billets d'avion basée sur le carbone en Belgique, nous avons utilisé des données d'études scientifiques, d'agences (inter)nationales (telle que l'Agence Européenne pour l'Environnement, ADEME), d'organisations internationales (comme Eurocontrol), d'offices statistiques (Statbel, Eurostat). A celles-ci, nous avons également ajouté les informations tirées d'une enquête en ligne qui nous a permis d'avoir un corpus de données plus complet, que nous avons comparé par la suite avec notre revue de la littérature.

Notre méthodologie pour déterminer l'impact d'une taxation sur les émissions s'inspire en partie de la méthodologie appliquée dans l'étude de Brülhart et al. (2020) qui estime les effets sur la demande de l'introduction d'une taxe sur les billets d'avion envisagée par le Parlement suisse.

Comme expliqué plus en détails dans les chapitres suivants, ce travail nous a ainsi amené à mener diverses études quantitatives :

- l'analyse de données de vols et de passagers des aéroports belges (de 2009 à 2018) ;
- la création d'un outil de calcul pour déterminer l'impact d'une taxe sur les émissions de CO₂ (et le nombre de passagers) à partir de diverses données d'entrée ;
- l'analyse des données de consommation en transport par avion en fonction des revenus à partir des données de consommation des ménages belges ;
- l'analyse des données de l'enquête administrée via internet.

Calcul de l'impact d'une taxe sur les émissions de CO₂

Nous précisons d'abord, tel que Graver et al. (2019) l'expriment également dans leur étude, qu'il existe « relativement peu de données sur la consommation de carburant, l'efficacité énergétique et les émissions de carbone aux niveaux régional et national » (Graver et al., 2019, p.1). Ces données sont parfois manquantes ou différentes en fonction de la source considérée.

Nous présentons ici nos méthodologies d'analyse des différentes sources de données afin de déterminer principalement les paramètres d'entrée de notre outil de calcul de l'impact de l'application d'une taxation, ainsi que pour évaluer l'impact social.

Les tableaux d'analyses des données intermédiaires se trouvent dans les annexes 1 à 7.

1. Répartition des vols Intra_Eu / Extra_EU (Annexe 1)

A partir de la base de données Eurostat « *Air passenger transport between the main airports of Belgium and their main partner airports (routes data) [avia_par_be]* », qui reprend les données des vols (distance, nombre de passagers par année) des aéroports belges sur 20 ans (1997-2018), nous avons analysés les données des 10 dernières années (2009-2018). Nous avons réparti les vols en deux catégories Intra-Europe, Intra_EU, et Extra-Europe, Extra_EU. Nous avons calculé la répartition de celles-ci, qui est de 76% Intra_EU et 24% Extra_EU. Ces valeurs varient peu sur les 10 dernières années et ne présentent pas d'évolution significative.

2. Distances représentatives des vols Intra_EU et Extra_EU (Annexe 2)

A partir de ces mêmes données Eurostat, nous avons calculé les distance moyennes des vols des deux catégories, qui sont de 1.070 km en Intra_EU (avec une distance max d'environ 3.000 km pour les vols vers Ténérife) et 4.210 km en Extra_EU (avec des distances entre 2.000 et 10.000 km environ). Ces moyennes varient très peu sur les 10 dernières années et ne présentent pas d'évolution significative.

	[%]	Distance moyenne
Intra_EU	76,0%	1070 km
Extra_EU	24,0%	4210 km

3. Répartition entre les classes de voyage économique et affaires (Annexe 3)

Nous avons décidé de ne considérer que deux classes de voyage : la classe économique et la classe affaires. La classe « économique plus » présente chez certaines compagnies aériennes est supposée dans la classe économique ; et la première classe est comprise dans la classe affaires. Les données exactes pour la Belgique n'étant pas disponibles, nous nous sommes basés sur la répartition des sièges (du document « *2019 Government Greenhouse Gas Conversion Factors for Company Reporting* » (Methodology Paper for Emission Factors Final Report) (Hill et al., 2019) pour obtenir les répartitions suivantes : 97% Intra_EU/économique ; 3% Intra_EU/affaires ; 86% Extra_EU/économique ; 14% Extra_EU/affaires.

4. Élasticité-Prix de la demande (Annexe 4)

L'impact de la taxation sur le trafic aérien dépend particulièrement de deux éléments : le niveau de taxation et l'élasticité de la demande (CE Delft, 2019 ; InterVISTAS, 2007 ; Brühlhart et al., 2020). Celle-ci « quantifie la sensibilité des consommateurs aux variations du prix des billets d'avion » (Brühlhart et al., 2020, p.4). L'élasticité de la demande aérienne est négative donc lorsque les prix augmentent, la demande diminue (InterVISTAS, 2007, p.i), c'est-à-dire que plus la taxe est élevée et plus la demande de transport aérien diminuera. Plus l'élasticité est grande, plus la taxation sera efficace (De Bosset et al., 2007 ; Brühlhart et al., 2020, p.4). L'élasticité dépend principalement du motif de trajet et de la possibilité de substitution intermodale (De Bosset, et al., 2007, p.16). Les voyageurs d'affaires sont moins sensibles aux variations de prix des billets (InterVISTAS, 2007 ; De Bosset et al., 2007). La demande pour les vols long-courriers est également moins élastique car la substitution intermodale est plus faible (De Bosset et al., 2007 ; InterVISTAS, 2007). L'élasticité de la demande est donc "essentielle" pour qu'une mesure, telle qu'une taxation, ait un impact sur la consommation et par conséquent sur l'environnement.

Les données d'élasticité-prix diffèrent d'une source à l'autre, en fonction des critères considérés ; De Bosset et al. (2007) expliquaient également que « la détermination de l'élasticité de la demande pour l'aviation est une tâche difficile » (p.16) et que la combinaison de plusieurs méthodologies était nécessaire. Néanmoins, les études InterVISTAS (2007) et Brons et al. (2002) sont très poussées dans la détermination des différentes valeurs d'élasticité. Ainsi Brühlhart et al. (2020) affirment qu'il y a un manque d'étude à ce sujet et que l'étude d'InterVISTAS sert depuis 2007 « de référence pour les rapports politiques » tel que le rapport de CE Delft (2019) pour la Commission Européenne (p.4).

Nous avons donc calculé les moyennes des données d'élasticité des différents segments applicables à la Belgique : National Level/Intra Europe pour l'élasticité Intra_EU/économique (-1,18) ; National Level/ Trans Atlantic (North America - Europe) et Europe-Asia pour Extra_EU/économique (-0,88). Afin d'obtenir l'élasticité pour les classes de voyage affaires (pour lesquels les voyageurs sont moins sensibles aux prix), nous ajoutons la différence mentionnée dans l'étude Brons et al. (2002) de 0,6 et obtenons : -0,58 pour l'Intra_EU/affaires ; et -0,28 pour l'Extra_EU/affaires.

5. Prix représentatifs pour les billets aller-retour (Annexe 5)

L'étude de CE Delft (2019) se base sur un prix moyen de 274€ pour les billets d'avion en Belgique. Celui-ci ne fait donc aucune distinction entre court-courrier et long-courrier ; ou même entre la classe économique et la classe affaires / première. Ce prix moyen unique n'est donc pas très représentatif à considérer seul. Par ailleurs, les prix aériens sont très variables en fonction de divers critères, tels que par exemple la classe de voyage, le taux de remplissage, la date d'achat du billet.

Afin de déterminer des prix moyens pour notre étude, au vu de l'absence de données à ce sujet pour la Belgique, nous avons tout d'abord décidé de calculer les prix moyens à partir des résultats obtenus à l'enquête par questionnaire (décrite plus loin). Le prix moyen pour les vols Intra_EU de l'enquête est de 168€ et celui des vols Extra_EU de 621€. En considérant que ces montants sont très majoritairement des tarifs en classe économique (information non demandée dans l'enquête ; mais la question du motif de voyage n'a eu que quatre réponses de voyage d'affaires), nous avons observé que ces valeurs étaient relativement semblables aux tarifs moyens utilisés dans l'étude suisse de Brühlhart et al. (2020) de « 170 pour un vol économique court-courrier, 840 pour un vol économique long-courrier » (p.5). Ces valeurs converties en euro avec le taux de change actuel sont d'environ 160€ et 780€. D'autant plus, le prix moyen des valeurs de l'enquête est de 277€, qui se rapproche du prix moyen utilisé dans l'étude de CE Delft de 274€. Nous avons donc décidé de conserver les valeurs de l'étude suisse, en l'absence d'autres données. Outre cela, n'ayant pas trouvé de données ou de marges pour des tarifs en classe affaires, (et en suivant la logique précédemment évoquée pour les tarifs économiques), nous avons décidé de conserver aussi les valeurs de l'étude suisse.

En synthèse nous avons utilisé les prix moyen suivant : 160€ en Intra_EU/Eco et 780€ en Extra_EU/Eco, 690€ en Intra_EU/Affaires et 4.300€ en Extra_EU/Affaires.

6. Émissions CO₂ équivalent en kg par passager-kilomètres (Annexe 6)

Les facteurs d'émissions de CO₂ sont complexes à calculer, et toutes les études et calculateurs online proposent des valeurs différentes. Ces différences s'expliquent par la prise en compte de données d'entrée différentes (en particulier en terme de vols), mais aussi parce que l'ensemble des trois contributions aux émissions de CO₂ d'un avion ne sont pas toujours considérées, c'est-à-dire : les émissions de CO₂ liées à la combustion du kérosène, le forçage radiatif, et les émissions de CO₂ liées à la production du kérosène. L'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie en France) a établi une « *documentation des facteurs d'émissions de la Base Carbone* » (ADEME, 2019), qui est très détaillée en fonction de la distance de vol et du nombre de passagers par avion et qui prend bien en compte les trois contributions aux émissions de CO₂. Nous nous sommes donc basés sur ces valeurs (tableau 1 annexe 6) pour calculer les valeurs moyennes Intra_EU (280 g CO₂/passager.km) et Extra_EU (230 g CO₂/passager.km) d'émissions de CO₂ par vol. En plus de cela, l'ADEME (agence française) a un bon niveau de représentativité par rapport à la Belgique, à défaut d'avoir des données belges.

Cependant, les moyennes trouvées à partir de ces données (280-230 g CO₂/passager.km) ne prennent pas en compte la distinction éco/affaires. Pour déterminer ces valeurs, nous avons repris les répartitions éco/affaires en Intra_EU (97/3%) et Extra_EU (86/14%), et nous avons considéré des ratios d'émissions de CO₂ Affaires/Economique (respectivement 1,3 en Intra_EU, et 2,5 en Extra_EU) sur base d'analyses de plusieurs sources de données (Hill et al., 2019 ; Bofinger & Strand, 2013 ; MyClimate, 2019 ; ICAO Carbon Emissions Calculator) (qui prennent en compte les surfaces occupées par les sièges en Economique et Affaires, ainsi que les taux de remplissage de ceux-ci). Les quatre coefficients de CO₂ ainsi déterminés sont présentés dans le tableau ci-dessous.

		Part [%]	Elasticité-Prix [-]	Billet [€]	CO ₂ [kg/km/passager]
Intra_EU	Economique	97,0%	-1,18	160 €	0,277
	Affaires	3,0%	-0,58	690 €	0,360
Extra_EU	Economique	86,0%	-0,88	780 €	0,190
	Affaires	14,0%	-0,28	4 300 €	0,475

7. Taux de taxe envisagés (Annexe 7)

Nous avons développé un outil (Annexe 8) qui permet de calculer, à partir des données d'entrée synthétisées dans le précédent tableau, à la fois la variation de la demande (nombre de passagers) et la variation des émissions de CO₂ suite à l'application d'une taxe sur le prix du billet. A cette fin, nous avons envisagé différents scénarios.

7.1 Scénario de taxe 1

Concernant les taux de taxe à appliquer pour l'analyse, nous avons décidé de prendre les taux de la taxe d'aviation en application en Allemagne (*Luftverkehrsteuergesetz*), mise en place en 2011 avec objectif partiellement environnemental (l'objectif premier étant "dans le cadre des mesures d'austérité au lendemain de la récente crise financière et économique" (Krenek & Schratzenstaller, 2016, p.18)), elle s'applique à tous les passagers décollant d'un aéroport allemand (ses taux étaient de 7,50€ pour un vol court-courrier ; 23,43€ pour les vols moyen-courriers ; 42,18€ pour les vols long-courriers jusque début 2020). Les taux ont été ajustés et revus à la hausse (dans un objectif d'induire des comportements plus respectueux de l'environnement (début de cette année (Hassler, 2020) et s'élèvent désormais à : 13,03€ pour les vols court-courriers ; 33,01€ pour les vols moyen-courriers et 59,43€ pour les long-courriers. Nous avons décidé de nous baser sur cette taxe, car la taxe allemande a été prise en référence dans l'étude de CE Delft (2019) et appliquée à tous les pays européens n'ayant pas encore de taxe afin

de voir l'impact sur les émissions de CO₂ de l'aviation dans chacun des pays. Nous n'avons pas considéré le taux moyen-courrier de la taxe allemande et nous sommes limités aux taux court-courrier et long-courrier ; équivalent à notre répartition Intra_EU et Extra_EU. De plus ces taux suivent l'idée de Krenek & Schratzenstaller (2016) disant qu'une taxe sur les billets d'avion correspond généralement à des taux d'imposition progressifs qui augmentent avec la distance parcourue (court, (moyen) et long-courriers). Par ailleurs, Brülhart et al. (2020) suggèrent de taxer plus les vols long-courriers, qui « représentent environ 79 % des émissions avec seulement 22 % du volume de passagers » (p.7) ; nos taux suivent donc cette idée dans une certaine mesure avec un taux long-courrier 4,5x plus grand que le taux court-courrier.

7.2 Scénario de taxe 2

Nous avons aussi décidé d'évaluer deux autres scénarios en appliquant d'une part un taux de taxation identique (+10%) pour toutes les catégories, et d'autre part des taux différenciés, Intra_EU (+5%) et Extra_EU (+20%), afin notamment d'évaluer l'impact sur la contribution de chaque catégorie de vol.

<u>Scénario 1</u> +13,03€ ; +59,43€	<u>Scénario 2</u> +10%	<u>Scénario 3</u> +5% ; +20%
--	---------------------------	---------------------------------

Impact social : estimation de l'impact par classe de revenu (Annexe 9)

Pour évaluer l'impact social, nous avons analysé les données des Enquêtes Budget des Ménages (EBM) de la période 2012-2018 (enquête réalisée tous les deux ans) récoltées sur le site de Statbel. L'EBM permet de comparer les dépenses respectives par quartile de revenus de la population belge. Nous avons donc repris les données des dépenses concernant le transport en avion pour chaque quartile de revenu moyen pour les quatre années (2012-2014-2016-2018). Le nombre de répondants a également été vérifié afin de s'assurer de la représentativité des données respectives (un nombre de répondants inférieur à 50 doit être considéré avec prudence, tel qu'indiqué dans l'EBM).

Enquête (Annexe 10 et 11)

Il s'agit d'une enquête quantitative administrée en ligne qui essaie de comprendre les comportements individuels et par celle-ci, contribuer à vérifier les hypothèses de recherche. Le questionnaire a été réalisé avec Google Form, et était auto-administré. Il a été distribué à l'aide de Facebook majoritairement, posté dans divers groupes spécifiques (de voyageurs en avion par exemple) ou non (groupes divers) ; ensuite, via les partages des personnes y ayant répondu. Le formulaire de

questions se trouve en annexe 10 . L'enquête a obtenu 217 réponses : ce nombre est relativement important et apporte une certaine représentativité statistique. Cependant, les répondants avaient la possibilité de répondre plusieurs fois pour ajouter plusieurs voyages en avion ; cela a pu biaiser légèrement les résultats en obtenant plusieurs réponses de la même personne (aucun moyen de détecter s'il s'agit de la même personne).

Le questionnaire était composé de 10 questions de contenu et 5 questions de profilage. Celui-ci se voulait assez court afin d'obtenir un maximum de réponses. Les types de questions utilisées étaient diverses en fonction de l'objet de la question : questions fermées, ouvertes ou semi-ouvertes. Un maximum de questions fermées ou semi-ouvertes ont été utilisées, permettant la codification afin de simplifier l'analyse des réponses. L'utilisation de questions semi-ouvertes, avec la case « Autre » suivie d'un espace de réponse, permettait de ne pas limiter le choix aux réponses prédéterminées et laissait un espace libre au cas où aucune des réponses proposées ne convenait au répondant, cela afin de limiter les biais résultant d'une réponse sélectionnée alors au hasard. Les réponses aux questions ouvertes, sous forme de commentaires pour certaines ou de valeurs (de prix notamment) pour d'autres, ont été traitées individuellement et manuellement. Ces informations qualitatives permettent de donner plus de poids aux données quantitatives récoltées. Les dernières questions ont permis une classification sur base de critères socio-professionnels.

Traitement des données

Le traitement des données s'est fait à l'aide d'un tableur Excel. Les réponses ont été triées et agrégées afin de sortir les distributions et pourcentages de modalité de réponse.

La distance entre les paires d'aéroports a été mesurée à l'aide de plusieurs sources : deux calculateurs de distance (cela peut créer quelques erreurs de kilométrages, mais l'idée de grandeur reste la même) ; complété par un fichier de calcul reprenant les distances entre paires d'aéroports belges et étrangers (d'après Bruno Kestemont, inédit 2020 sur base d'Eurostat (avia_par_be) et de distances calculées par le site <https://fr.distance.to>).

Limites relatives à l'enquête

Les limites relatives à l'enquête en ligne sont les suivantes :

- Il n'y avait pas de possibilité de répondre « moins d'un voyage sur l'année » : certains des répondants voyagent moins d'une fois sur l'année en avion ; de plus, cette étude ne considère que les personnes voyageant en avion, une part de la population (qui ne prend pas l'avion) n'est donc pas représentée.
- Un questionnaire en ligne peut-être socialement biaisé car il est non représentatif de la population ; en plus de cela, dans ce cas-ci, le nombre et le profil des répondants étaient aléatoires ; cependant, au vu de la situation actuelle, il n'était pas possible de mettre en place une autre forme d'enquête.
- Manque d'informations demandées : pas d'explication demandée concernant leur raison d'accepter ou non de payer une taxe environnementale sur l'aviation.
- Les catégories socio-professionnelles (et donc la séparation des groupes de revenu) auraient pu être basées sur les différents quartiles de l'Enquête Budget des Ménages, pour établir une meilleure comparaison avec l'analyse de l'impact social basée sur l'EBM.

Résultats

Scénario 1 : montants de taxation appliqués en Allemagne

		Part(Passagers)	Elasticité-Prix	Distance	CO2	Billet	Taxe	C-Billet	Part(C-Passagers)	Part(C-CO2)
		[%]	[-]	[km]	[kg/km/passager]	[€]	[€]	[%]	[%]	[%]
Intra_EU	Economique	73,7%	-1,18	1070 km	0,277	160 €	13,03 €	8,1%	-7,1%	-4,6%
	Affaires	2,3%	-0,58	1070 km	0,360	690 €	13,03 €	1,9%	0,0%	0,0%
Extra_EU	Economique	20,6%	-0,88	4210 km	0,190	780 €	59,43 €	7,6%	-1,4%	-2,4%
	Affaires	3,4%	-0,28	4210 km	0,475	4300 €	59,43 €	1,4%	0,0%	-0,1%
		100,0%					24,17 €		Total(C-Passagers)	Total(C-CO2)
									-8,5%	-7,1%

Dans ce premier scénario de taxation, nous avons appliqué un taux de taxation différencié fixe en euro sur les billets d'avion en fonction des vols Intra_EU (+ 13,03€) et Extra_EU (+ 59,43€). Ce taux est basé sur le taux en vigueur en Allemagne. Suite à la mise en place de cette taxation, nous pouvons observer l'augmentation des billets d'avion variable en fonction du segment. Les billets économiques seraient les plus fortement impactés, avec une augmentation autour de 8,1% ; alors que les billets en classe affaires seraient très faiblement impactés en relatif. Suite à cela, la demande totale en transport aérien baisserait de -8,5%, dont -7,1% lié uniquement à la baisse sur le segment Intra_EU/Eco. Concernant les émissions de CO₂, la réduction totale serait de -7,1%, essentiellement liée à la baisse de la demande sur les vols Eco (soit -4,6% liés aux Intra_EU/Eco, et -2,4% liés aux Extra_EU/Eco).

Scénario 2 : taux de taxation proposés dans l'enquête (+5% ; +10%)

		Taxe	Part(C-Passagers)	Part(C-CO2)
		[%]	[%]	[%]
Intra_EU	Economique	10%	-8,7%	-5,6%
	Affaires	10%	-0,1%	-0,1%
Extra_EU	Economique	10%	-1,8%	-3,2%
	Affaires	10%	-0,1%	-0,4%
			Total(C-Passagers)	Total(C-CO2)
			-10,7%	-9,3%

En appliquant un taux unique de taxation de 10% pour les quatre types de vol, la diminution du nombre de passagers se ferait surtout dans les vols Intra/Eco (-8,7% pour une diminution totale de -10,7%). La baisse totale des émissions de CO₂ serait de -9,3%, dont -5,6% liés aux Intra_EU/Eco et -3,2% liés aux Extra_EU/Eco. À nouveau, l'effet de la taxation sur les passagers en classe affaires, que ce soit sur les vols Intra_EU ou Extra_EU, est négligeable (-0,1% pour chacun) ; entraînant une légère baisse des émissions de CO₂ associées : respectivement -0,1% et -0,4%.

Comme le transport aérien est en concurrence avec le transport terrestre pour certaines destination Intra_EU, le risque de ce scénario est que le gain attendu sur les émissions de CO₂ soit en partie compensé par une augmentation des émissions du transport terrestre de substitution, ayant un impact moindre sur l'environnement.

A partir du scénario « +10% », nous pouvons déduire les résultats d'un scénario « +5% » appliqué sans distinction à tous les segment de voyage (autre taux proposé dans l'enquête) en divisant par deux les variations (en %) sur les passagers et le CO₂.

Scénario 3 : taux de taxation différenciés

		Taxe [%]	Part(C-Passagers) [%]	Part(C-CO2) [%]
Intra_EU	Economique	5%	-4,3%	-2,8%
	Affaires	5%	-0,1%	-0,1%
Extra_EU	Economique	20%	-3,6%	-6,3%
	Affaires	20%	-0,2%	-0,8%
			Total(C-Passagers)	Total(C-CO2)
			-8,2%	-10,0%

Ce scénario établit des taux de taxation différenciés en fonction de la distance de vols : +5% pour les vols Intra_EU et +20% pour les vols Extra_EU. L'objectif est de taxer davantage les vols Extra_EU qui présentent peu ou pas de possibilité de substitution par un autre moyen de transport.

De cette manière, on obtiendrait une réduction semblable et même légèrement plus importante des émissions (-10,0% vs -9,3%). De plus, ce serait les vols Extra_EU qui y contribueraient très majoritairement avec -7,1% (-6,3 et -0,8) des -10,0%. Ce scénario serait le plus efficace en terme de réduction des émissions, avec même une réduction plus faible de la demande par rapport au scénario précédent (-8,2% vs -10,7%).

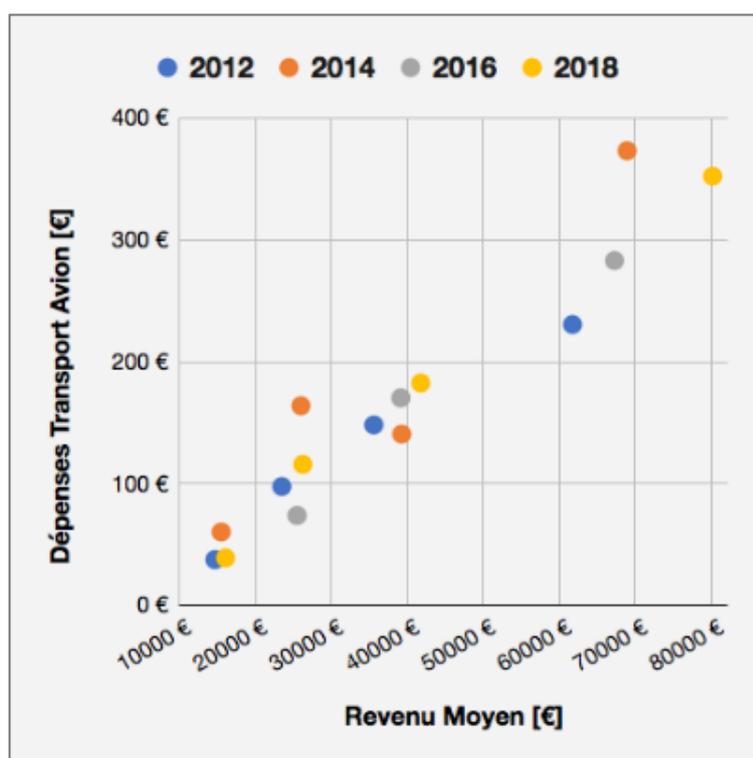
Impact social : estimation de l'impact par classe de revenu

Nous avons analysé les données des enquêtes sur le budget des ménages réalisées par Statbel (office belge de statistiques) en 2012-2014-2016-2018. Ce tableau de synthèse présente, pour chaque année et par quartile de revenu, le revenu moyen et les dépenses en transport par avion.

	2012		2014		2016		2018	
	Revenu Moyen	Dépenses Avion						
<Q25	14 659 €	38 €	15 496 €	60 €	15 340 €		16 068 €	39 €
Q25<...<Q50	23 468 €	98 €	25 985 €	164 €	25 476 €	74 €	26 227 €	116 €
Q50<...<Q75	35 570 €	148 €	39 233 €	141 €	39 117 €	170 €	41 743 €	183 €
>Q75	61 701 €	231 €	68 886 €	373 €	67 229 €	283 €	80 130 €	352 €
ENSEMBLE	33 936 €	129 €	37 415 €	185 €	36 816 €	157 €	41 074 €	173 €

Note : la case vide du tableau correspond à une donnée basée sur 35 répondants qui pose la question de la représentativité, et qui plus est, la valeur semblait « aberrante » compte tenu des valeurs des années précédentes du même quartile ou encore comparée aux valeurs de l'année 2016 des autres quartiles, nous avons donc décidé de ne pas la considérer.

La mise en graphique de ces données va nous permettre d'évaluer la dépendance des dépenses en transport par avion avec le revenu moyen des ménages, et ainsi d'estimer l'élasticité-revenu :
élasticité-revenu = % variation des dépenses en transport par avion / % variation du revenu moyen.



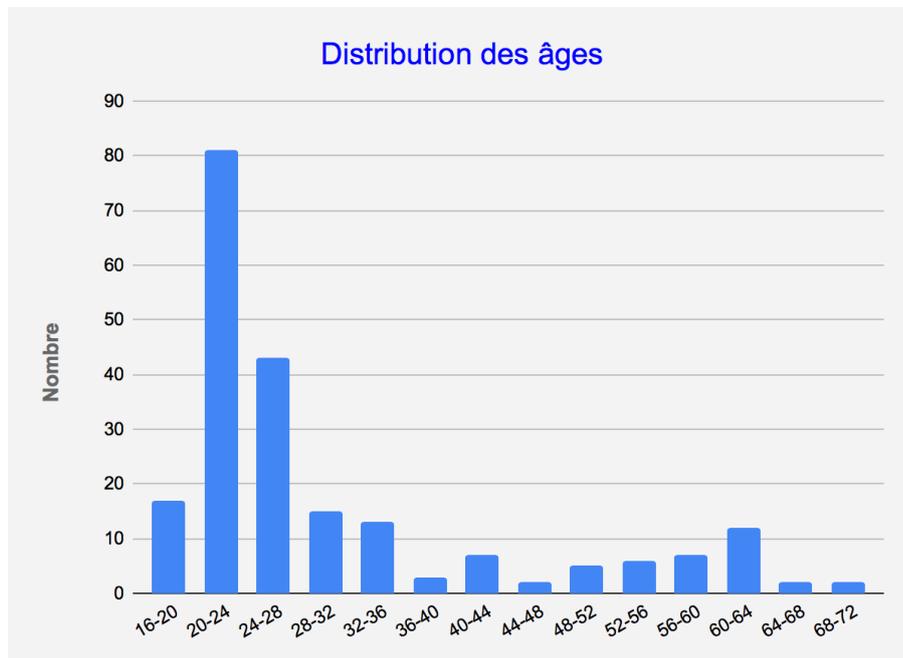
Ce graphique montre très clairement une augmentation (linéaire) des dépenses en transport par avion avec l'augmentation des revenus. De plus, l'élasticité-revenu peut être estimée à pratiquement +2, puisqu'une multiplication des revenus par 5 entraîne pratiquement un facteur 10 sur les dépenses.

Résultats de l'enquête

Variables socio-démographiques		Echantillon	
		n	%
Age	Moyenne	31	26%
	Min	18	15%
	Max	70	59%
Genre	Femmes	140	65%
	Hommes	73	34%
	Autre	4	2%
Revenus	<Q25 (Moins de 1500€)	61	28%
	Q25<...<Q50 (Entre 1500 et 3000€)	70	32%
	Q50<...<Q75 (Entre 3000 et 4500€)	34	16%
	>Q75 (Plus de 4500€)	27	13%
	(non communiqué)	24	11%
Fréquence de voyage	1 x/an	90	41%
	1 - 3 x/an	86	40%
	> 3 x/an	41	19%
Catégorie socio-professionnelle	Indépendant	8	4%
	Cadre	15	7%
	Employé	56	26%
	Ouvrier	1	0%
	Retraité	12	6%
	Etudiant	109	51%
	Autre	12	6%
Niveau de diplôme le plus élevé	Primaire	1	0%
	Secondaire	42	19%
	Supérieur de type court	54	25%
	Supérieur de type long et plus	120	55%
Prêt à payer plus cher ?	NON	24	12%
	+5%	79	40%
	+10%	91	46%
	Plus de +10%	6	3%

Note : la catégorie « Autre » concernant la catégorie socio-professionnelle comprend : 10 demandeurs d'emploi, 1 chômeur (qui effectue des prestations en tant qu'indépendant via Smart), 2 fonctionnaires, 2 chefs d'entreprise.

Nous pouvons constater parmi les profils de répondants, que la moitié des répondants sont des étudiants. Pour cette raison, la moyenne d'âge de l'échantillon est de 31 ans, et la distribution des âges est la suivante :

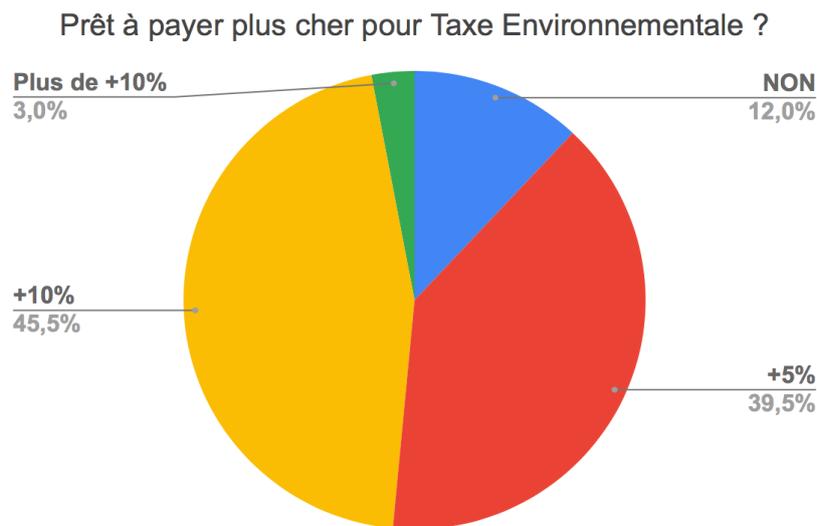


Mis à part la forte représentativité des étudiants, les professions des autres répondants sont plutôt hétérogènes, mais un seul ouvrier représenté. Les demandeurs d'emploi, retraités et étudiants ont généralement moins de revenus que les autres catégories, disposent donc de moins d'argent pour prendre l'avion.

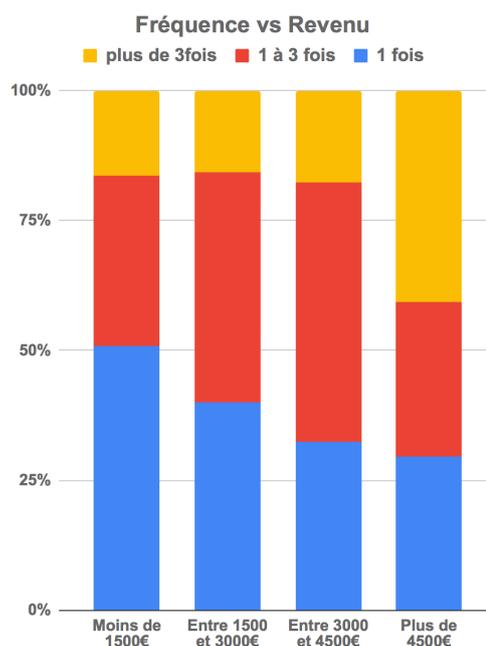
En ce qui concerne les motifs de voyage, il s'agit essentiellement de voyages pour des raisons touristiques (64%) ou des visites de familles ou amis à l'étranger (27%). Les voyages d'affaires sont très peu représentés (2%) et les autres raisons de voyage (7%) annoncées peuvent être classées dans deux catégories : loisirs/divers (championnat de sport, camp scout, volontariat à l'étranger), ou voyage en lien avec les études (Erasmus, stage).

Tourisme (T)	137	64%
Visite de famille ou amis (VFF)	57	27%
Business (B)	5	2%
Autres (A)	15	7%

Par ailleurs, nous pouvons remarquer qu'une grande majorité (88%) des répondants a dit oui à une taxation environnementale sur leur billet d'avion, et près de la moitié (48,5%) sont prêts à payer 10% et plus. Par ailleurs, une personne a répondu à cette question que cela dépendait « *des informations reçues sur la taxe, et de l'application de celle-ci aux compagnies aériennes. Le consommateur ne doit pas payer seul la taxe* ». « *J'ai envie de répondre que oui mais le vol a été choisi car il était le moins cher...* » ; cette réponse montre que malgré la potentielle volonté de payer une taxation environnementale sur les billets d'avion, le prix reste un facteur décisif.

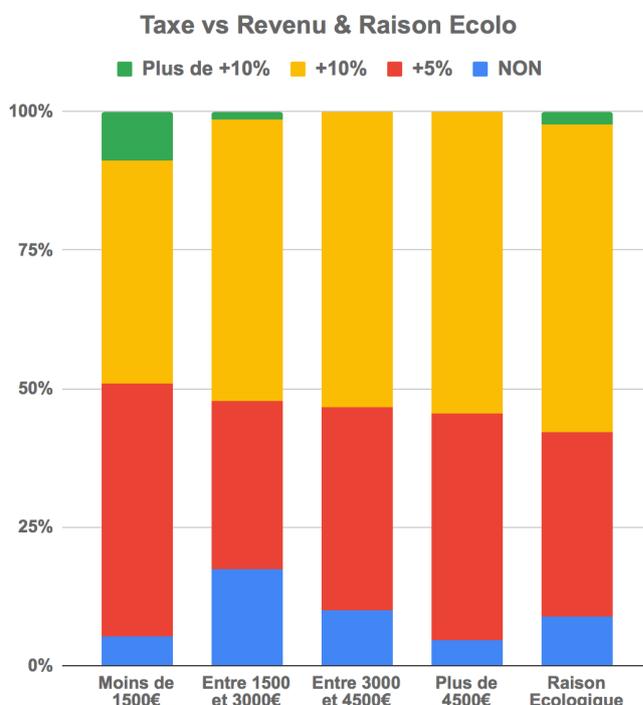


En ce qui concerne la corrélation entre la fréquence de voyage et le revenu, nous observons que plus le revenu est élevé, plus la fréquence de voyage est élevée également.



Pour ce qui est du lien entre le revenu et la volonté de payer une taxe sur les billets d’avion, plus le revenu est élevé plus les répondants seraient d’accord de payer une taxe de +10% (ou plus). Et même dans la classe de revenus les moins élevés, près de 50% sont prêts à payer une taxe de +10% (ou plus). C’est dans la classe de revenus les moins élevés que la proportion de répondants en faveur de la taxe de +5% est la plus importante. La plus grande proportion de personne en désaccord avec la taxation des billets d’avion se trouve dans la classe de revenu entre 1.500 et 3.000€. Curieusement, la plus grande proportion de répondants pour une taxe supérieure à +10% se trouve dans la classe des moins riches (mais certainement peu de représentativité vu le petit nombre). Mais il ne faut probablement pas accorder trop d’importance aux résultats « plus de +10% » pris isolément (car ils se rapportent à de très petits nombres de personnes). Il est préférable de faire les observations et analyses en les groupant avec les « +10% ».

Dans ce même histogramme, nous avons aussi représenté les proportions pour les répondants ayant évoqué la raison écologique en cas de substitution de transport à l’avion. Nous remarquons que près de 60% d’entre eux accepteraient de payer une taxe de +10% (ou plus), soit une proportion encore un peu supérieure à celle de la catégorie des revenus les plus élevés.



Enfin, lorsqu'on regarde la question du choix intermodal (« *Si ce voyage avait été réalisable via un autre mode de transport (train ; train de nuit ; TGV ; bus; etc.) à un prix inférieur ou égal à celui du billet d'avion, quel moyen de transport auriez-vous employé ?* ») :

Substitution	94
Avion	123
Intra_EU	132
Extra EU	85

Tout d'abord, 123 répondants ont répondu qu'ils auraient conservé l'avion, il y a dans ce nombre, 85 personnes réalisant un trajet Extra_EU, pour lequel la substitution n'était pas possible. Il y a donc 38 répondants (sur 132 n'ayant pas réalisé un vol Extra_EU) qui auraient tout de même conservé l'avion pour leur voyage.

La question des raisons du choix de substitution du mode de transport ou de conserver l'avion était une question ouverte non obligatoire, tous les répondants n'y ont donc pas répondu. Les réponses ont été classées en deux parties : pour ou contre le changement intermodal. D'un côté, les raisons pour le changement modal qui ont été données par les répondants sont : l'écologie, le prix, l'expérience (du train en général), le confort, le temps gagné (par rapport au temps perdu dans l'aéroport), la facilité (d'après un répondant « *prendre le train est plus facile* »). De l'autre côté, les raisons de conserver l'avion étaient : le temps gagné comparé au temps perdu avec les changements de transport (rarement un trajet direct disponible en TGV par exemple), une distance trop importante (manque d'alternative à l'avion, notamment sur les vols Extra_EU), la disponibilité faible des transports de substitution (peu de trajets réellement substituables et réalisables à l'aide d'un autre moyen de transport), le prix (souvent plus faible de l'avion), le confort et la facilité.

Raisons pour la substitution intermodale		Raisons de conserver l'avion	
écologique	59	temps	72
prix	10	distance trop importante	26
expérience	8	disponibilité	3
confort	5	argent	4
temps	4	confort	3
facilité	1	facilité	1
non répondu	137	non répondu	114
réponses	87	réponses	109

Une majorité des raisons évoquées pour la substitution intermodale évoque des raisons environnementales : « *Par conviction environnementale. Dès que je peux effectuer un trajet avec un autre moyen de transport que l'avion, même si c'est plus cher, je n'hésite pas longtemps* ».

Afin de mieux faire valoir les autres moyens de transport par rapport à l'avion (trains, TGV notamment), l'offre de ceux-ci doit être plus attrayante, avec des prix revus vers le bas (« *Raison écologique.. malheureusement (...) le train est beaucoup trop cher...* » ; « *plutôt train de nuit que TGV car le prix du TGV est beaucoup trop élevé et (le) bus trop long* » ; « *Que le moyen alternatif soit bien moins cher* »). Par ailleurs, un des répondants mentionne : « *si le billet d'avion était beaucoup plus cher, j'aurais peut-être bien choisi un autre moyen de transport moins cher* ». L'offre d'alternatives à l'avion doit également proposer des connectivités améliorées (« *mais le prix du train doit devenir abordable et être réalisable sur la journée* » ; « *les connections entre les différents moyens de transports sont difficiles, fatigantes et (le) délai d'attente entre chaque transport rallonge considérablement le voyage* » ; « *Difficulté de faire le trajet avec les autres moyens de transport, beaucoup de changements de transport* » ; « *Le seul désavantage (du train,) c'est que rarement il y a le trajet en train pour la destination qui m'intéresse (ou du moins ce trajet implique plusieurs changements de trains)* »). D'ailleurs, plusieurs répondants parlent de l'expérience liée au train (qu'il n'y a pas avec l'avion) : « *C'est une expérience (...), le voyage commence directement dans le train car nous pouvons voir des paysages en traversant différents pays* ». D'autres évoquent leur désir de voir s'étendre l'offre du train de nuit : « *un train de nuit serait une alternative envisageable* » ; « *20h de bus non... train de nuit pourquoi pas* ».

La raison la plus citée en faveur de l'avion est le temps de trajet raccourci qu'il permet, et moins de perte de temps donc plus de temps à destination (« *J'aurais gardé l'avion car ça reste le moyen le plus rapide* »).

Enfin, un des répondants (qui aurait conservé l'avion pour son trajet Bruxelles - Ljubljana) soulève un point intéressant : « *Confort (pour l'avion), les aspects pratiques de voyages. Surtout une transparence que le changement de mode de transport est favorable pour l'environnement. Autant que ça reste flou si c'est mieux ou pas, je ne suis pas spécialement motivé de changer. Je regrette qu'il n'y a pas de consensus sur ces questions. Ensuite je pense qu'il faudrait changer nos habitudes, voyager par avion est devenu tellement normal que personne ne pense changer. Il faut en parler dans les média* ».

Discussion

Nous avons donc établi divers scénarios de taxation sur les billets d'avion. Dans tous les scénarios envisagés, il s'agit d'une taxe appliquée sur les billets d'avion à chaque passager au départ des aéroports belges. Les taux diffèrent en fonction de la distance de vol (Intra_EU ; Extra_EU) et du type de billet (classe économique ; classe affaires). Il en résulte que, en raison de l'élasticité de la demande, le taux de taxation fait varier le nombre de passagers aériens, et, en conséquence, la quantité d'émissions de CO₂ associées émises par les avions (CE Delft, 2019 ; Brühlhart et al., 2020).

Tableau récapitulatif des différents scénarios et de leurs impacts

		Scénario 1 +13,03€ ; +59,43€		Scénario 2 +10%		Scénario 3 +5% ; +20%	
		Impact sur la demande	Impact sur les émissions de CO ₂	Impact sur la demande	Impact sur les émissions de CO ₂	Impact sur la demande	Impact sur les émissions de CO ₂
Impact total		-8,5%	-7,1%	-10,7%	-9,3%	-8,2%	-10,0%
Intra_EU	Economique	-7,1%	-4,6%	-8,7%	-5,6%	-4,3%	-2,8%
	Affaires	0,0%	0,0%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%
Extra_EU	Economique	-1,4%	-2,4%	-1,8%	-3,2%	-3,6%	-6,3%
	Affaires	0,0%	-0,1%	-0,1%	-0,4%	-0,2%	-0,8%

En fonction des différents scénarios de taxation, les impacts tant sur les passagers que sur les émissions varient différemment, en lien avec l'élasticité de la demande (plus importante pour les courtes distances et/ou en classe économique, moins importante pour les longues distances et/ou en classe affaires).

Les réductions d'émissions de CO₂ obtenues dans les différents scénarios de cette analyse sont à nuancer avec le fait que certaines destinations (majoritairement en Intra_EU) restent potentiellement accessibles par d'autres moyens de transport. La vraie réduction d'émissions de CO₂ serait vraisemblablement moindre que celle calculée car certains feraient tout de même le voyage avec un autre moyen de déplacement (dont les émissions, même moindres, compenseraient partiellement la réduction de celles de l'aviation). Mais le scénario 3 de taxation différenciée est bien moins sensible à cette problématique. Dans ce cas, les vols Extra_EU contribuent majoritairement à la réduction des émissions (-6,3% en classe économique et -0,8% en classe affaires sur un total de -10%) ; et ces destinations ne sont généralement pas atteintes par un autre moyen de transport (pas de possibilité de substitution). Par ailleurs, afin de déplacer la demande vers les autres moyens de transport, moins polluants, notre enquête révèle qu'il y a une nécessité d'améliorer l'offre des transports alternatifs (particulièrement le train et le bus, trop lents, et dont la connectivité est généralement mauvaise) ainsi que de diminuer le coût du train (TGV particulièrement). Le train de nuit est même une option qui semble pouvoir être fort appréciée si bien développée.

Nos résultats des différents scénarios nous permettent de conclure que pour réduire plus efficacement les émissions de CO₂ du secteur aérien, il vaut mieux taxer (relativement au prix du billet) davantage les vols Extra_EU que les vols Intra_EU (scénario 3). Cette idée est partagée par Brühlhart et al. (2020) qui expliquent qu'afin de renforcer l'impact sur les émissions, en tenant compte du fait que les vols long-courriers émettent 79% des émissions pour seulement 22% du volume de passagers, ces derniers doivent être plus fortement taxés. Le scénario à privilégier est donc un scénario avec un taux de taxation différenciée tel que le scénario 3 (+5% ; +20%). Brühlhart et al. (2020) expliquent que la différenciation des taux peut être encore plus élevée afin d'augmenter d'autant plus l'impact sur les émissions (tout en limitant celui sur la demande), et cela « malgré une élasticité plus faible du segment des vols long-courriers » (Brühlhart et al., 2020, p.7). Nous montrons d'ailleurs que le scénario 3 entraîne une réduction plus faible de la demande globale par rapport au scénario 2 (-8,2% vs -10,7%) tout en réduisant davantage les émissions (-10,0% vs -9,3%). Ce scénario permet de ralentir la demande aérienne avec une meilleure répartition sur chacun des segments.

Notre analyse des données des enquêtes sur le budget des ménages nous a permis de montrer qu'une augmentation des revenus entraîne une augmentation des dépenses en transport par avion, mais aussi que les dépenses par avion augmente plus vite que les revenus. Nous avons ainsi estimé que l'élasticité-revenu des ménages belges vaut pratiquement +2. Cette valeur rejoint les résultats de la littérature qui estiment l'élasticité-revenu concernant le voyage en avion positive (généralement entre +1 et +2), c'est-à-dire que « les voyages en avion augmentent à mesure que les revenus augmentent » (InterVISTAS, 2007, p.i). Plus les gens ont des revenus élevés et plus ils dépensent en transport en avion. Donc les dépenses en avion des personnes à faible revenu étant déjà beaucoup plus faibles que celles des personnes à revenu élevé, les personnes à faible revenu seront d'autant plus affectées par les taxes sur les billets. Il existe donc effectivement une relation entre le niveau de revenu d'une population et le transport aérien. Cela peut être également mis en parallèle avec la relation entre le niveau de richesse d'un pays et sa consommation en transport aérien. De la même manière, notre enquête montre d'ailleurs que plus le niveau de revenu augmente, et plus la fréquence des voyages en avion augmente, mais aussi que la part des personnes prêtes à payer une taxe de +10% (et plus) sur leurs billets d'avion augmente avec les revenus.

Quant à l'acceptabilité du public d'une taxation environnementale sur le transport aérien, une grosse majorité des répondants (88%) est favorable à l'idée d'une taxation sur le transport aérien. Par ailleurs, un des répondants mentionne tout de même que « *le consommateur ne doit pas payer seul la taxe* ». Cela rejoint l'idée de Sonnenschein & Smedby (2019) selon laquelle l'écart entre la volonté de

payer (WTP positif) pour une taxe obligatoire sur les voyages en avion est nuancée dans les faits par le fait que les voyageurs ne veulent pas porter seuls la responsabilité de ce surcoût.

Les trois facteurs déterminants pour le voyageur qui ressortent des recherches de De Bosset et al. (2007) et Spaey (2017), à savoir le prix du billet de transport, le temps de transport et sa commodité (confort et horaires), apparaissent également dans les résultats de notre enquête. Les étudiants notamment choisissent généralement leur destination en fonction du prix (Spaey, 2017) (« *J'ai envie de répondre que oui mais le vol a été choisi car il était le moins cher...* » ; « *si le billet d'avion était beaucoup plus cher, j'aurais peut-être bien choisi un autre moyen de transport moins cher* ») ; cependant, celui-ci n'est pas le seul qui détermine le comportement humain (De Bosset et al., 2007, p.8). D'après une enquête du MRMT (*Microrécensement mobilité et transports : enquête suisse qui a lieu tous les 5 ans au sujet des habitudes de transports des citoyens*) sur les raisons principales du choix d'un moyen de transport, le coût du voyage n'est évoqué que par 10% des répondants, Thalmann (2019) rapporte qu'« il faudrait donc une hausse considérable (des tarifs aériens) pour compenser les autres avantages de l'avion, une hausse qui serait justifiée par l'ensemble des coûts externes occasionnés par les avions » (p.4). Cette idée peut être comparée avec les résultats de l'enquête : nous observons qu'une partie (certes non majoritaire) des répondants n'aurait pas changé de mode de transport et aurait conservé l'avion, même si le prix de l'alternative avait été inférieure ou égal au prix effectivement payé pour le voyage en avion. Cela pour diverses raisons liées aux avantages de l'avion, telles que sa rapidité principalement, mais sa disponibilité et son confort ont également été évoqués par quelques répondants.

Un des répondants soulève que le voyage en avion est tellement ancré dans nos habitudes désormais que le changement doit se faire notamment via l'information et l'éducation des voyageurs à propos de la question environnementale et les différents moyens de transport. Cela rejoint l'idée évoquée par Brülhart et al. (2020) qu'« afin d'amplifier l'impact de la taxe, qui envoie déjà un message négatif par son instauration, celle-ci doit être accompagnée de « l'information du public sur les effets des vols aériens sur le réchauffement climatique » (p.8).

Par ailleurs, une action à un niveau supra-national est nécessaire, particulièrement dans le cas d'un pays comme la Belgique, entouré de grands aéroports 'hubs' en Europe facilement accessibles avec les lignes TGV telles que Thalys, Eurostar, ICE, ou par la route (voiture ou bus). Afin d'éviter le risque de déplacement des passagers des aéroports nationaux vers les aéroports étrangers, il faut maintenir un taux de taxation relativement faible (Sonnenschein & Smedby, 2019, p.660).

Conclusion

Les instruments mis en place dans l'objectif de réduire les émissions de CO₂ du secteur aérien tels que la compensation volontaire des émissions, le système ETS de l'Union Européenne, ou encore l'instrument CORSIA, semblent avoir échoué jusqu'à maintenant à avoir engendré un réel impact sur les volets de l'innovation ou des changements de comportement tant du point de vue de l'industrie aérienne que de celui des consommateurs. Une combinaison de ces diverses mesures avec la mise en place d'une taxation serait potentiellement plus efficace afin de limiter considérablement l'impact du secteur aérien sur l'environnement. Par ailleurs, Graver et al. (2019) expliquent qu'il est nécessaire de faire davantage de recherche sur les impacts des émissions de CO₂ de l'aviation, afin de fournir aux décideurs politiques un support pour établir des politiques pertinentes et efficaces. Afin de favoriser une croissance durable de l'aviation, il est donc nécessaire que l'ensemble des acteurs travaillent ensemble afin de mettre en place une approche globale.

Les résultats de notre étude suggèrent d'appliquer une taxation avec des taux différenciés entre les vols court-courriers (taux plus faible) et les vols long-courriers (taux plus élevé), ces derniers ayant un impact supérieur sur l'environnement. En effet, l'efficacité de la taxation sur les vols court-courriers peut être réduite, pour certaines destinations, à cause de la substitution possible de l'avion par d'autres modes de transport. Mais cette problématique n'existe pas avec les vols long-courriers. Ainsi l'application d'une taxe de 5% sur les vols Intra_EU et de 20% sur les vols Extra_EU permettrait de réduire de 10% les émissions de CO₂ des vols en Belgique. De plus, la réduction des émissions obtenue par l'application d'une taxation différenciée est acquise avec une moindre diminution du nombre global de passagers (comparativement à l'application d'un taux identique sur les vols court-courriers et long-courriers). D'un point de vue social, la taxation différenciée devrait peser davantage sur les voyageurs avec des revenus plus élevés, puisque les voyageurs long-courriers (à priori ceux avec les revenus les plus élevés) seront les plus affectés.

Par ailleurs il est crucial de prendre en considération l'aire géographique d'application de la taxe si l'on veut garantir son effectivité et éviter de possibles contournements (tels que les départs déplacés dans les aéroports des pays voisins non-soumis à une telle taxation). La suppression des vols de moins de 500km est une option qui pourrait également se révéler pertinente, ceux-ci étant facilement substituables par d'autres moyens de transport. Cependant, au-delà du secteur aérien en tant que tel, l'amélioration de la compétitivité des autres modes de transport est essentielle : par une réduction des tarifs et l'amélioration de l'offre afin d'inciter les voyageurs à renoncer à l'avion en faveur de ces autres moyens de transport. Redynamiser le tourisme régional (Castaignede, 2019) est une autre piste à explorer, dans l'optique de redonner envie aux touristes non plus d'aller à l'autre bout de la planète mais de visiter des régions accessibles via les liaisons ferroviaires (train de nuit, TGV) par exemple à partir

de leur lieu de résidence. Indépendamment de tout cela, l'information du public sur les impacts d'un voyage en avion sur le réchauffement climatique reste primordiale. Effectivement, la mise en place d'un régime fiscal et de toute autre solution de limitation des émissions aériennes doivent également être accompagnées par la remise en question des habitudes de voyage des citoyens (Ozer & Perrin, 2007).

Par ailleurs, l'instauration d'un régime fiscal propre permettrait de générer des recettes actuellement inexistantes en raison d'une absence de taxation du secteur aérien. Celles-ci pourraient être utilisées au sein du secteur : dans la recherche et développement ; dans l'amélioration de la navigation, de la gestion du trafic, ou encore des performances (Priskin, 2007). D'après Metenier (2019), l'avion « devrait représenter plus de 16% de la demande de combustibles fossiles liquides de l'UE d'ici 2030 ». Il est donc important de mettre en place des instruments afin de limiter la demande en transport aérien autant que de stimuler l'innovation et le recours à l'utilisation de carburants alternatifs.

La mise en place d'une taxation environnementale pose la question de l'effet de cette mesure sur l'emploi et par conséquent de l'acceptabilité politique. Quel pouvoir politique serait prêt à endosser la responsabilité d'une potentielle perte d'emplois dans le secteur aérien suite à l'instauration d'un tel régime fiscal ? Par ailleurs, l'impact du point de vue du secteur aérien, et plus précisément des compagnies aériennes, pourrait également être envisagé : quelle serait leur réaction face à cette mesure (comment vont-elles répercuter cette mesure, vont-elles essayer de l'amortir (en partie) dans leurs coûts, ou la répercuter intégralement sur les voyageurs ?).

Bibliographie

ADEME. (2019). Base Carbone : Documentation des facteurs d'émissions de la Base Carbone [PDF en ligne]. ADEME, Angers Cedex 01. 8 novembre 2019. [Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse : [https://www.bilans-ges.ademe.fr/static/documents/\[Base%20Carbone\]%20Documentation%20g%C3%A9n%C3%A9rale%20v11.0.pdf](https://www.bilans-ges.ademe.fr/static/documents/[Base%20Carbone]%20Documentation%20g%C3%A9n%C3%A9rale%20v11.0.pdf).

ADEME. (2020). Aérien. *Bilan-ges.ADEME.fr* [en ligne]. [Consulté le 15 avril 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?aerien.htm

Alonso, G., Benito, A., Lonza, L., & Kousoulidou, M. (2014). Investigations on the distribution of air transport traffic and CO₂ emissions within the European Union. *Journal of Air Transport Management*, 36, 85-93.

Atmosfair.de. (s.d.). The impact of air travel on our climate. *Atmosfair.de* [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.atmosfair.de/en/air_travel_and_climate/flugverkehr_und_klima/climate_impact_air_traffic/.

Belgium's greenhouse gas inventory (1990-2018). (2020). *Climat.be* [en ligne]. 15 avril 2020. [Consulté le 25 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://climat.be/doc/nir-15-april-2020-final.pdf>.

Bofinger, H. & Strand, J. (2013). *Calculating the carbon footprint from different classes of air travel*. The World Bank, Environment and Energy Team, Development Research Group. Mai 2013. [Consulté le 25 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <http://documents.worldbank.org/curated/en/141851468168853188/pdf/WPS6471.pdf>.

Brons, M., Pels, E., Nijkamp, P., & Rietveld, P. (2002). Price elasticities of demand for passenger air travel: a meta-analysis. *Journal of Air Transport Management*, 8(3), 165-175.

Brueckner, J.K., Zhang, A., 2010. Airline emission charges: effects on airfares, service quality, and aircraft design. *Transp. Res. Part B* 44 (8–9), 960–971.

Brühlhart, M., Cocker, F., Rohner, D., Thalmann, P. (2020). Introduction d'une taxe sur les billets d'avion en Suisse : Estimation des effets sur la demande. *The Enterprise for Society Center*.

Burghouwt, G., Boonekamp, T., Zuidberg, J., & van Spijker, V. (2016). Economic benefits of reducing aviation taxes in Latin America and the Caribbean. *SEO-report*, (2016-13).

Carbon Market Watch. (2020). What will airlines buy to offset their pollution?. *Carbon Market Watch* [en ligne]. [Consulté le 23 mars 2020]. Disponible à l'adresse : https://carbonmarketwatch.org/wp-content/uploads/2020/02/022020-CORSIA-supply.pdf?fbclid=IwAR02YfAqc1fN11Hp6XFaeN_KB8AvJiHAO2ko-HlkhtGWgXy8gfl0pIQLrJw.

Carlsson, F. (2002). Environmental charges in airline markets. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 7(2), 137-153.

Castaignède, L. (2019). Interview. Dans : *Se déplacer, mais à quel prix ?*. France culture, 15 août 2019. Disponible à l'adresse : <https://www.franceculture.fr/emissions/invite-des-matins-dete/invite-des-matins-dete-du-jeudi-15-aout-2019>.

CE Delft. (2019). Taxes in the Field of Aviation and their impact - Final Report. *Prepared for the European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport*. Publications Office of the European Union.

Chiambaretto P., Mayenc E., Chappert H., Engsig J., Fernandez A-S., Le Roy F., Joly C. (2020). « Les français et l'impact environnemental du transport aérien : entre mythes et réalités », *Les Carnets de la Chaire Pégase*, n°1

Choi, A. S., Ritchie, B. W., & Fielding, K. S. (2016). A mediation model of air travelers' voluntary climate action. *Journal of Travel Research*, 55(6), 709-723.

Climate Registry. (2017). Registre belge de gaz à effet de serre : Liens & Rapports. ClimateRegistry [en ligne]. [Consulté le 23 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.climateregistry.be/fr/links-reports/links-reports.htm#NIR>.

Commission Européenne. (s.d.). Reducing emissions from aviation. *Commission Européenne*. [Consulté le 1 mars 2020]. Disponible à l'adresse : https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation_en

Commission Européenne. (s.d.). Système d'échange de quotas d'émissions de l'UE (SEQUE-UE). *Commission Européenne*. [Consulté le 23 avril 2020]. Disponible à l'adresse : https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_fr

Connaissances des énergies. (2017). *Qu'est-ce que l'intensité énergétique?*. *Connaissances des énergies* [en ligne]. 25 juillet 2017. [Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.connaissancesdesenergies.org/qu-est-ce-que-l-intensite-energetique-120522#:~:text=L'intensit%C3%A9%20%C3%A9nerg%C3%A9tique%20est%20un.%3A%20transpo%20rts%20b%C3%A2timents%20etc..>

Courbe, P. (2019). Aviation et climat. *IEW* [en ligne]. 3 décembre 2019. [Consulté le 4 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.iew.be/aviation-et-climat/#easy-footnote-bottom-3-81947>.

Crippa, M., Oreggioni, G., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Lo Vullo, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J.G.J., Vignati, E. (2019). Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries - 2019 Report, EUR 29849 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-11100-9, doi:10.2760/687800, JRC117610.

Cui, Q., Li, Y., & Wei, Y. M. (2017). Exploring the impacts of EU ETS on the pollution abatement costs of European airlines: An application of Network Environmental Production Function. *Transport Policy*, 60, 131-142.

De Bosset, A., Fenner, J., Matthey, G., Thommen, O., & Thalman, P. (2007). *Quel avenir pour le transport aérien?* (No. STUDENT).

Devlin, S., & Bernick, S. (2015). Managing aviation passenger demand with a frequent flyer levy.

EasyJet. (2020). Annual report and accounts 2019 : resilient focused data driven [PDF en ligne]. *EasyJet.com*. [Consulté le 15 avril 2020]. Disponible à l'adresse : https://corporate.easyjet.com/~/_media/Files/E/Easyjet/pdf/investors/results-centre/2019/eas040-annual-report-2019-web.pdf.

EBAA. (2015). Aviation taxes in Europe : a snapshot [PDF en ligne]. *EBAA*. 3 septembre 2015. [Consulté le 24 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ebaa.org/app/uploads/2018/01/20151002161856-aviationtaxesineurope-ashotsept2015.pdf>.

Edwards, H. A., Dixon-Hardy, D., & Wadud, Z. (2016). Aircraft cost index and the future of carbon emissions from air travel. *Applied energy*, 164, 553-562.

EEA. (2019). Greenhouse gas emissions from transport in Europe. *European Environment Agency* [en ligne]. 17 décembre 2019. [Consulté le 27 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-12>.

Eiselin, S. (2019). German tax on long-haul flights set to rise by 40 percent. *AeroTelegraph* [en ligne]. 15 novembre 2019. [Consulté le 10 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.aerotelegraph.com/en/german-tax-on-long-haul-flights-set-to-rise-by-40-percent#:~:text=Germany%20raises%20its%20aviation%20tax,tax%20on%20flights%20in%202020.&text=For%20flights%20in%20Europe%20it,from%2042.18%20to%2059.43%20euros.>

- Eskeland, G., & Lindstad, H. E. (2016). Environmental Taxation in Transport.
- Eurocontrol. (2019). Think Paper #4 Le réseau électronique : Questions liées à la décarbonisation. *Eurocontrol* [en ligne]. Septembre 2019. [Consulté le 27 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-01/eurocontrol-think-paper-4-decarbonisation-fr.pdf>.
- European Aviation Environmental Report. (2016) Rapport Environnement de l'Aviation Européenne 2016. *EAE* [en ligne]. [Consulté le 23 mars 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.easa.europa.eu/eaer/system/files/usr_uploaded/EAER%202016%20Handout%20-FR.pdf.
- European Commission. (s.d.). Reducing emissions from aviation. *European Commission* [en ligne]. [Consulté le 23 mars 2020]. Disponible à l'adresse : https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation_fr.
- FNAM. (2020). *CORSIA* [en ligne]. [Consulté le 3 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.fnam.fr/grands-dossiers/corsia>.
- Fukui, H., & Miyoshi, C. (2017). The impact of aviation fuel tax on fuel consumption and carbon emissions: The case of the US airline industry. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 50, 234-253.
- Garcia-Sierra, M., van den Bergh, J. C., & Miralles-Guasch, C. (2015). Behavioural economics, travel behaviour and environmental-transport policy. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, 288-305.
- GIEC. (1999). Rapport Spécial du GIEC : L'aviation et l'atmosphère planétaire. Résumé à l'intention des décideurs [en ligne]. [Consulté le 5 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/av-fr.pdf>.
- González, R., & Hosoda, E. B. (2016). Environmental impact of aircraft emissions and aviation fuel tax in Japan. *Journal of Air Transport Management*, 57, 234-240.
- Goret, C. (2019). Et si le train de nuit faisait son retour ?. *Metro* [en ligne]. 29 juin 2019. [Consulté le 4 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://fr.metrotime.be/2019/06/29/actualite/et-si-le-train-de-nuit-faisait-son-retour/>
- Gössling, S., Fichert, F., & Forsyth, P. (2017). Subsidies in aviation. *Sustainability*, 9(8), 1295.

Government of the Netherlands. (2019). Dutch government tables national flight tax bill. *Government of the Netherlands* [en ligne]. 14 mai 2019. [Consulté le 25 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.government.nl/latest/news/2019/05/14/dutch-government-tables-national-flight-tax-bill>

Graver, B., Zhang, K., & Rutherford, D. (2019). CO2 emissions from commercial aviation, 2018. *ICCT - The International Council on Clean Transportation* [en ligne]. 19 septembre 2019. [Consulté le 15 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://theicct.org/publications/co2-emissions-commercial-aviation-2018>.

Guillermard, V. (2019). Interview. Dans : *Aéronautique : quelle stratégie face à la pression écologique ? Le décryptage de Véronique Guillermard*. Figaro Live, 18 juin 2019.

Hassler, A. (2020). *TR : [sg-discussion] Plane ticket tax*. [message électronique]. 26 mars 2020.

Hemmings, B. (2018). Aviation & Shipping [PDF en ligne]. *Transport & environnement*. [Consulté le 25 mars 2020]. Disponible à l'adresse : https://klimaat.be/doc/180312_-_12_-_Hemmings.pdf.

Henderson, J. (2005). *Controlling Carbon Dioxide Emissions from the Aviation Sector* (Stratus Consulting, 2005).

Heuwieser, M. (2017). The illusion of green flying [en ligne]. Novembre 2017. [Consulté le 15 mai 2020]. Disponible à l'adresse : http://www.ftwatch.at/wp-content/uploads/2017/10/FT-Watch_Green-Flying_2017.pdf.

Hill, N., Karagianni, E., Jones, L., MacCarthy, J., Bonifazi, E., Hinton, S., Walker, C., & Harris, B. (2019). *2019 Government Greenhouse Gas Conversion Factors for Company Reporting (Methodology Paper for Emission Factors Final Report)* [en ligne]. For the Department for Business Energy & Industrial Strategy (BEIS). Août 2019. [Consulté le 25 mai 2020]. Disponible à l'adresse : https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/829336/2019_Green-house-gas-reporting-methodology.pdf.

Hofer, C., Dresner, M. E., & Windle, R. J. (2010). The environmental effects of airline carbon emissions taxation in the US. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15(1), 37-45.

IATA. (2017). 2036 Forecast Reveals Air Passengers Will Nearly Double to 7.8 Billion. *IATA*. [Consulté le 25 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2017-10-24-01/>.

IATA. (2018). Communiqué : l'IATA prévoit 8,2 milliards de voyageurs aériens en 2037. *IATA* [en ligne]. Genève, 24 octobre 2018. [Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.iata.org/contentassets/db9e20ee48174906aba13acb6ed35e19/2018-10-24-02-fr.pdf>.

IATA. (2019). Communiqué : le fort trafic de passagers se maintient en 2018. *IATA* [en ligne]. 7 février 2019. [Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.iata.org/contentassets/57a5379c75c34c2881ba91238f786138/2019-01-07-01-fr.pdf>.

IATA. (2020). 2019-2039 Current Trends : Covid-19 has a profound impact on our forecast profile in the near-term with a sharp fall in 2020 and strong recovery in 2021 and 2022. *IATA* [en ligne].

[Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.iata.org/contentassets/e938e150c0f547449c1093239597cc18/pax-forecast-infographic-2020-final.pdf>.

ICAO. (2015). L'OACI salue l'accord de la COP21 et continuera à guider et à coordonner la réalisation des objectifs environnementaux de l'aviation internationale. *ICAO* [en ligne]. 15 décembre 2015.

[Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.icao.int/Newsroom/Pages/FR/ICAO-Welcomes-COP21-Agreement_FR.aspx.

ICAO. (2018a). Forte croissance du trafic passagers et demande de fret aérien modérée en 2018. *ICAO* [en ligne]. Montréal, 31 décembre 2018. [Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.icao.int/Newsroom/Pages/FR/Solid-passenger-traffic-growth-and-moderate-air-cargo-demand-in-2018.aspx>.

ICAO. (2018b). Inclusion de l'aviation dans les plans nationaux de développement. *ICAO* [en ligne].

Rapport annuel 2018 [Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.icao.int/annual-report-2018/Pages/FR/emerging-aviation-issues-national-development-plans.aspx>.

ICAO. (2019a). Le monde du transport aérien en 2018. *ICAO* [en ligne]. [Consulté le 4 juin 2020].

Disponible à l'adresse : <https://www.icao.int/annual-report-2018/Pages/FR/the-world-of-air-transport-in-2018.aspx>.

ICAO. (2019b). Présentation des résultats statistiques du transport aérien en 2018. *ICAO* [en ligne].

[Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.icao.int/annual-report-2018/Documents/Annual.Report.2018_Air%20Transport%20Statistics_fr.pdf.

ICAO. (2019c). ASSEMBLY — 40TH SESSION EXECUTIVE COMMITTEE Agenda Item 16:

Environmental Protection – International Aviation and Climate Change — Policy and Standardization.

ICAO [en ligne]. 10 septembre 2019. [Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

https://www.icao.int/Meetings/A40/Documents/WP/wp_561_en.pdf.

- ICAO. (s.d.). Faits et chiffres : L'aviation mondiale et l'économie mondiale. *ICAO* [en ligne]. [Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.icao.int/sustainability/Pages/FR/Facts-Figures_WorldEconomyData_FR.aspx.
- ICN. (2019). Observatoire des prix : Analyse des prix deuxième rapport trimestriel 2019. *ICN* [en ligne]. [Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://economie.fgov.be/fr/propos-du-spf/organisation/observatoires/observatoire-des-prix>.
- InterVISTAS. (2007). *Estimating Air Travel Demand Elasticities* [en ligne]. InterVISTAS Consulting. The Hague : 28 décembre 2007. Prepared for the International Air Transportation Association (IATA). [Consulté le 25 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/estimating-air-travel-demand-elasticities---by-intervistas/>.
- Jou, R. C., & Chen, T. Y. (2015). Willingness to pay of air passengers for carbon-offset. *Sustainability*, 7(3), 3071-3085.
- Jungbluth, N. & Meili, C. (2018). *Aviation and Climate Change: Best practice for calculation of the global warming potential* [en ligne]. ESU Services Ltd. Schaffhausen : 31 août 2018. [Consulté le 25 mai 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/327551417_Aviation_and_Climate_Change_Best_practice_for_calculation_of_the_global_warming_potential.
- Juprelle, J. (2020). *Rép : informations mémoire*. [message électronique]. 5 mai 2020.
- Kantenbacher, J., Hanna, P., Cohen, S., Miller, G., & Scarles, C. (2018). Public attitudes about climate policy options for aviation. *Environmental Science & Policy*, 81, 46-53.
- Keen, M., & Strand, J. (2007). Indirect taxes on international aviation. *Fiscal Studies*, 28(1), 1-41.
- Keen, M., Parry, I., & Strand, J. (2013). Planes, ships and taxes: charging for international aviation and maritime emissions. *Economic Policy*, 28(76), 701-749.
- Kisska-Schulze, K., & Tapis, G. P. (2012). Projections for reducing aircraft emissions. *J. Air L. & Com.*, 77, 701.
- Kollmuss, A. & Myers Crimmins, A. (2009). *Carbon Offsetting & Air Travel : Part 2: Non-CO2 Emissions Calculations* [en ligne]. USA : Stockholm Environment Institute, Juin 2009. [Consulté le 25 mai 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/264727254_Carbon_Offsetting_Air_Travel_Part_2_Non-CO_2_Emissions_Calculations.

- Krenek, A., & Schratzenstaller, M. (2016). Sustainability-oriented EU taxes: the example of a European carbon-based flight ticket tax.
- Laurent, M-C. (2018). Sustainable Alternative Fuels for Aviation [PDF en ligne]. *IATA*. 14 mars 2018. [Consulté le 25 mars 2020]. Disponible à l'adresse : https://klimaat.be/doc/180312_-_11_-_Laurent.pdf.
- Leclerc, T. P. A. (2017). *Les mesures correctives des émissions aériennes de gaz à effet de serre: contribution à l'étude des interactions entre les ordres juridiques en droit international public* (Doctoral dissertation).
- Lee, D. S., Fahey, D. W., Forster, P. M., Newton, P. J., Wit, R. C., Lim, L. L., ... & Sausen, R. (2009). Aviation and global climate change in the 21st century. *Atmospheric Environment*, 43(22-23), 3520-3537.
- Lohest, F., & Aubin, D. (2012). Les impacts de la libéralisation et de la régionalisation sur la durabilité du secteur aérien civil en Belgique. *Fédéralisme Régionalisme*.
- Lombard, E. (2020). *TR : Une étude suisse sur la taxe sur les billets d'avion intéressante à plus d'un titre*. [message électronique]. 26 mars 2020.
- Lugen, M. (s.d.). *Petit guide de méthodologie de l'enquête*. Université Libre de Bruxelles, Bruxelles.
- Lynes, J.K., et D. Dredge (2006), « Going Green : Motivation for Environmental Commitment in the Airline Industry. A Case Study of Scandinavian Airlines », *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 14, no 2, p. 116-138.
- Macintosh, A., & Wallace, L. (2009). International aviation emissions to 2025: Can emissions be stabilised without restricting demand?. *Energy Policy*, 37(1), 264-273.
- Mak, B., et W.W. Chan (2006), « Environmental Reporting of Airlines in the Asia Pacific Region », *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 14, no 6, p. 618-627.
- Manceau, J-J. (2019). Le Mouvement Anti-Avion Peut-Il Provoquer Un Trou d'Air Dans La Croissance ?. *Forbes* [en ligne]. 15 avril 2019. [Consulté le 4 juin 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.forbes.fr/environnement/le-mouvement-anti-avion-peut-il-provoquer-un-trou-dair-dans-la-croissance%E2%80%89/?cn-reloaded=1>.
- Markham, F., Young, M., Reis, A., & Higham, J. (2018). Does carbon pricing reduce air travel? Evidence from the Australian 'Clean Energy Future' policy, July 2012 to June 2014. *Journal of Transport Geography*, 70, 206-214.

Mazareanu, E. (2020). Number of scheduled passengers boarded by the global airline industry from 2004 to 2020 (in millions). *Statista*. 10 mars 2020. [Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.statista.com/statistics/564717/airline-industry-passenger-traffic-globally/>.

Metenier, N. (2019). Fuelling sustainability by taxing aviation fuel. *META from the EEB* [en ligne]. 12 juillet 2019. [Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://meta.eeb.org/2019/07/02/kerosene-tax/>.

Morgan, S. (2019). Bruxelles envisagerait une taxe sur le kérosène [en ligne]. *Euractiv* : 4 avril 2019. [Consulté le 25 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.euractiv.fr/section/plan-te/news/jet-fuel-tax-hopes-lifted-by-leaked-eu-report/>

MyClimate. (2019). Le calculateur d'émissions de vols de myclimate. *MyClimate* [en ligne]. Suisse : 13 août 2019. [Consulté le 5 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.myclimate.org/fileadmin/user_upload/myclimate_-_home/01_Information/01_About_myclimate/09_Calculation_principles/Documents/myclimate-Calculateur-de-vols-Base_FR.pdf.

OCDE. (2007). Transports et émissions de CO2 : Quels progrès ?. *OCDE* [en ligne]. Paris : CEMT. [Consulté le 6 avril 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/07cuttingco2f_0.pdf.

OECD. (2019). Taxing energy use [en ligne]. *OECD Publishing*. [Consulté le 3 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/ea855fb5-fr/index.html?itemId=/content/component/ea855fb5-fr>.

Office fédéral de l'environnement OFEV. (2019). *Taxe sur le trafic aérien : Rapport à l'attention de la CEATE-N* [en ligne]. 23 octobre 2018. [Consulté le 25 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/droit/totalrevision-co2-gesetz/berichte-parlament.html>.

Olsthoorn, X. (2001). Carbon dioxide emissions from international aviation: 1950–2050. *Journal of Air Transport Management*, 7(2), 87-93.

Ozer, P., & Perrin, D. (2007). Le coût environnemental du transport aérien. *Politique: Revue Belge d'Analyse et de Débat*, (48), 9-12.

Pagoni, I., & Psaraki-Kalouptsidi, V. (2016). The impact of carbon emission fees on passenger demand and air fares: A game theoretic approach. *Journal of air transport management*, 55, 41-51.

Parkin, B. (2019). Germany is 6 months away from climate tax on air travel. *Skift.com* [en ligne]. 15 octobre 2019. [Consulté le 6 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://skift.com/2019/10/15/germany-is-6-months-away-from-climate-tax-on-air-travel/#:~:text=How%20tax%20on%20air%20tickets,59.43%20euros%20from%2042.18%20euros.>

Parlement européen. (2019). Émissions de CO2 des avions et des navires : faits et chiffres (infographie). *Parlement européen* [en ligne]. 5 décembre 2019. [Consulté le 5 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

[https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/society/20191129STO67756/emissions-de-co2-des-avions-et-des-navires-faits-et-chiffres-infographie.](https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/society/20191129STO67756/emissions-de-co2-des-avions-et-des-navires-faits-et-chiffres-infographie)

Pearce, B., & Pearce, D. (2000). *Setting environmental taxes for aircraft: a case study of the UK*. Norwich: Centre for Social and Economic Research on the Global Environment.

Priskin, J. (2007). Le transport aérien. Le voyage à bilan carbone neutre est-il réellement écologique?. *Téoros. Revue de recherche en tourisme*, 26(26-1), 63-66.

PwC. (2017). The economic impact of air taxes in Europe: European Economic Area [PDF en ligne]. *PwC.com, prepared for Airlines for Europe*. Octobre 2017. [Consulté le 25 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://a4e.eu/?s=The+Economic+Impact+of+Air+Taxes+in+Europe%3A+Sweden>.

PwC. (2017). The economic impact of air taxes in Europe : Sweden [PDF en ligne]. *PwC.com, prepared for Airlines for Europe*. Octobre 2017. [Consulté le 25 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://blueswandaily.com/wp-content/uploads/2017/10/The-economic-impact-of-air-taxes-in-Europe-EEA-1.pdf>.

Scheelhaase, J. D. (2019). How to regulate aviation's full climate impact as intended by the EU council from 2020 onwards. *Journal of Air Transport Management*, 75, 68-74.

Seely, A. (2019). *Taxing aviation fuel*. London: *House of Commons Library*.

Seetaram, N., Song, H., Ye, S., & Page, S. (2018). Estimating willingness to pay air passenger duty. *Annals of Tourism Research*, 72, 85-97.

Simone, N. W., Stettler, M. E., & Barrett, S. R. (2013). Rapid estimation of global civil aviation emissions with uncertainty quantification. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 25, 33-41.

Smith, C. E. (2010). Air transportation taxation: the case for reform. *J. Air L. & Com.*, 75, 915.

Sonnenschein, J., & Smedby, N. (2019). Designing air ticket taxes for climate change mitigation: insights from a Swedish valuation study. *Climate policy*, 19(5), 651-663.

Spaey, M. (2017). Tourisme durable : une opportunité pour la Wallonie. *IEW*.

Spaey, M. (2019). Taxer le secteur aérien : possible dès à présent ! *IEW* [en ligne]. : 4 avril 2019. [Consulté le 10 décembre 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.iew.be/taxer-le-secteur-aerien-possible-des-a-present/>.

SPF Mobilité. (s.d.). Données statistiques des aéroports. *SPF Mobilité* [en ligne]. [Consulté le 31 mai 2020]. Disponible à l'adresse : https://mobilit.belgium.be/fr/transport_aerien/aeroports_et_aerodromes/statistiques.

Statbel. (2019). Budget des ménages. *Statbel* [en ligne]. [Consulté le 17 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://statbel.fgov.be/fr/themes/menages/budget-des-menages>

Survey Monkey. (2020). Types de questions de sondage. *Survey Monkey* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://fr.surveymonkey.com/mp/survey-question-types/>.

Termium Plus. (2010). Passager kilometre payant [1 fiche]. *Termium Plus* [en ligne]. 6 juin 2020. [Consulté le 23 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-fra.html?lang=fra&i=1&index=alt&srchtxt=PASSAGER%20KILOMETRE%20PAYANT>.

Teter, J. (2020). Tracking report; Aviation : More efforts needed. *IEA - International Energy Agency* [en ligne]. Juin 2020. [Consulté le 5 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.iea.org/reports/aviation>.

Thalman, P. (2019). Des contingents flexibles pour le transport aérien. *Bulletin AES*, 2019(ARTICLE), 2-5.

Transport & Environnement. (2015). Pas d'accord sans le transport maritime et aérien. *Transport et environnement* [en ligne]. Décembre 2015. [Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.transportenvironnement.org/sites/te/files/publications/2015_11_COP21_international_transport%20brief_FR.pdf.

Transport & Environnement. (2019). *Leaked study shows aviation in Europe undertaxed*.

UN Climate Change. (2020). National Inventory Submissions 2019. *UNFCCC secretariat* [en ligne]. [Consulté le 25 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://unfccc.int/process-and->

[meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/national-inventory-submissions-2019](#)

Wolrath Söderberg, M., & Wormbs, N. (2019). Grounded: Beyond flygskam. European Liberal Forum & Fores.

Zhou, W., Wang, T., Yu, Y., Chen, D., & Zhu, B. (2016). Scenario analysis of CO2 emissions from China's civil aviation industry through 2030. *Applied energy*, 175, 100-108.

Sites internet

ADEME. Site Bilan GES. Disponible à l'adresse : <https://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil>

Distance.to. Distance Calculator. Disponible à l'adresse : <https://www.distance.to/>

DTA. Calculateur d'émissions de GES de l'aviation. Disponible à l'adresse : <https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr/>.

Ephemeride.com. Distance entre deux aéroports. Disponible à l'adresse : <https://www.ephemeride.com/atlas/distanceaeroport/0/?chgpays=o>

Eurostat. Disponible à l'adresse : <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>.

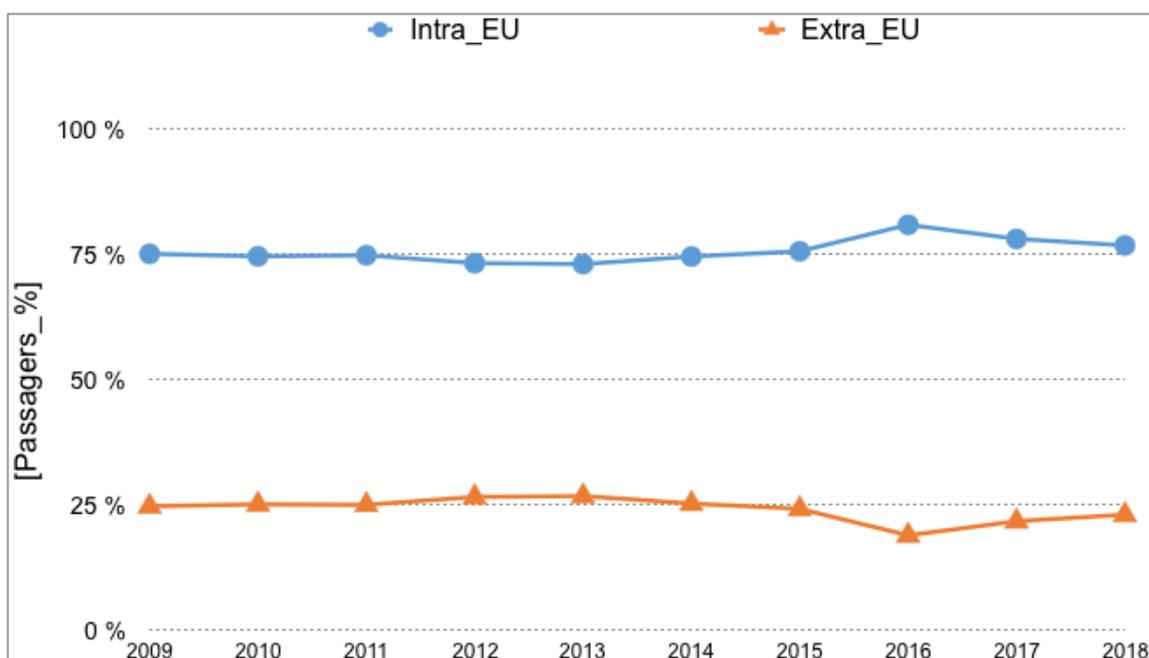
ICAO. ICAO Carbon Emissions Calculator. Disponible à l'adresse : <https://www.icao.int/environmental-protection/Carbonoffset/Pages/default.aspx>.

Annexe 1 : Répartition des vols Intra_Eu / Extra_EU

calculs à partir des données, d'après Bruno Kestemont, inédit 2020 sur base d'Eurostat (avia_par_be) et de distances calculées par le site <https://fr.distance.to>

[Passagers_%]

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2009-18
Intra_EU	75 %	75 %	75 %	73 %	73 %	75 %	76 %	81 %	78 %	77 %	76 %
Extra_EU	25 %	25 %	25 %	27 %	27 %	25 %	24 %	19 %	22 %	23 %	24 %
	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	

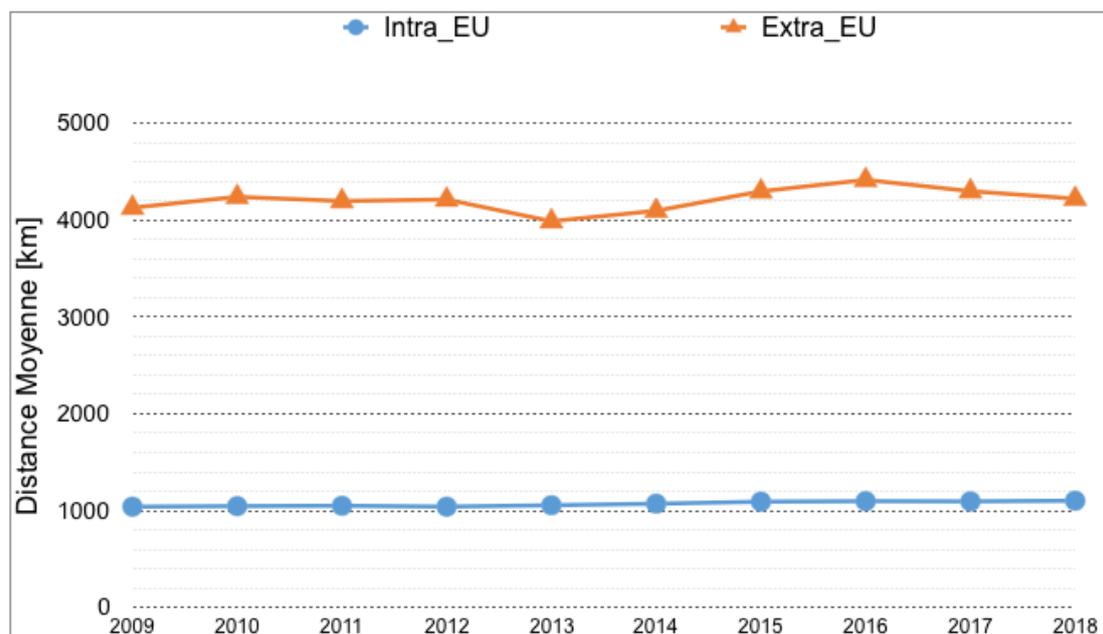


Annexe 2 : Distances représentatives des vols Intra_EU et Extra_EU

calculs à partir des données, d'après Bruno Kestemont, inédit 2020 sur base d'Eurostat (avia_par_be) et de distances calculées par le site <https://fr.distance.to>

Distance Moyenne [km]

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2009-18
Intra_EU	1040	1046	1050	1040	1055	1071	1092	1097	1095	1101	1 069 km
Extra_EU	4128	4240	4197	4213	3989	4097	4297	4416	4299	4222	4 210 km



Annexe 3 : Répartition entre les classes de voyage économique et affaires

Hill et al., 2019, p.80

Table 38: CO₂ emission factors by seating class for passenger flights for 2019 GHG Conversion Factors (excluding distance and RF uplifts)

Flight type	Cabin Seating Class	Load Factor%	gCO ₂ /pkm	Number of economy seats	% of average gCO ₂ /pkm	% Total seats
Domestic	Weighted average	77.7%	123.6	1.00	100.0%	100.0%
Short-haul	Weighted average	83.5%	76.8	1.02	100.0%	100.0%
	Economy class	83.5%	75.5	1.00	96.4%	96.7%
	First/Business class	83.5%	113.3	1.50	147.5%	3.3%
Long-haul	Weighted average	80.6%	94.9	1.31	100.0%	100.0%
	Economy class	80.6%	72.6	1.00	76.6%	83.0%
	Economy+ class	80.6%	116.2	1.60	122.5%	3.0%
	Business class	80.6%	210.7	2.90	222.1%	11.9%
	First class	80.6%	290.6	4.00	306.3%	2.0%

« Sur base des données de ce tableau et de celui ci-dessous, les valeurs sont « arrondies » pour définir les proportions de passagers suivant la classe de billet :

- Intra_EU : Economique/Affaires = 97%/3%
- Extra_EU : Economique/Affaires = 86%/14% »

Keen & Strand, 2007

Traffic originating in Europe : Economy 85% / (Business+First) 15% [% of Pasengers]

- 42 -

Tables 8 and 9 give some information on such issues. Table 8 provides worldwide data on relative traffic volumes, in terms of numbers of passengers and passenger kilometers traveled, and on shares of airlines' revenues, all split up by economy, business, and first class. The table indicates that about 90 percent of all aviation travel (either in number of passengers or in traveled distance) is made up by economy-class travelers; about 9 percent by business-class travelers; and only about one percent by first-class travelers. For airline revenues, the shares for business and first class are higher and approach 30 percent in aggregate.⁴⁷ Thus, a uniform departure tax (or alternatively, a fuel tax that is charged equally by distance to all travelers) would fall for 90 percent of its incidence on economy-class travelers, and for 10 percent on business- and first-class travelers. For a uniform ad valorem ticket tax, by contrast, almost 30 percent would fall on premium travelers.

Table 8. Overall Shares of Aviation Traffic by Travel Class, for Numbers of Passengers, Distance Traveled, and Airline Revenue

(Percentages of totals)			
Travel Class	Share of Passenger Traffic, Passenger Number	Share of Passenger Traffic, Traveled km	Share of Airline Revenue
Economy class	89.6	90.4	73.1
Business class	9.6	8.2	20.1
First class	0.8	1.4	6.7

Source: Brian Pearce, IATA, and personal communication.

⁴⁷ It is perhaps surprising that the share of airline revenue from premium-class travelers is not even higher than this, given the figures in Table 5 for a (presumably representative) British Airways flight, which showed premium passengers representing roughly 50 percent of revenue. Possible explanations include: the figures in Table 8 are for aggregate world travel, while some airlines (such as British Airways) have more revenue from premium passengers than others; the premium passenger share of revenue is generally higher in international than in domestic travel; some (full-price) economy-class segments pay airlines close to those of business-class passengers; and that there has recently been some competitive pressure downwards on business-class ticket fares (Brian Pearce, IATA, personal communication).

- 43 -

Table 9. Shares of Total Numbers of Air Passengers by Class, for Traffic Originating in Different Major Regions

Data type	(Percentages of total traffic)				Total Traffic 1/
	Traffic Originating in Europe	Traffic Originating in North America	Traffic Originating in Latin America	Traffic Originating in Asia and Pacific	
Economy class	85.0	89.0	91.1	90.5	89.6
Business class	14.6	9.3	7.3	8.7	9.6
First class	0.4	1.7	1.6	0.8	0.8
Region's overall share of traffic, Traveled kilometers	28.4	35.5	5.0	25.9	100

Source: IATA (2004); Brian Pearce, and personal communication.

1/ Shares for regional traffic for regions specified do not add up to 100 percent, as not all regions are specified in the table.

Another dimension of incidence of interest—both in describing the potential impact of the tax and in suggesting likely sources of opposition—is that by region. This in turn has several aspects. The impact on any country's welfare is likely to depend, for example, on the direct impact on its own residents (by whichever carrier they travel), on the impact on its national carriers (whatever the residence of their passengers), or, for tourist destinations, on the volume of all leisure traffic. And the pattern of regional effects will also potentially differ by type of tax. Available data are such, however, as to enable only a few rather broad statements:⁴⁸

- Allocating the impact of a global aviation fuel tax in proportion to passenger kilometers flown⁴⁹ (given that airline capacity utilization differs little between

⁴⁸ Domestic flights carried about twice as many passengers as international, but the latter are on average about three times longer; thus almost 60 percent of total passenger kilometers are flown internationally.

⁴⁹ The calculations below use data from IATA (2004). The passenger kilometers data reported here are found as the product of "available seat-kilometers" and the passenger load factor. In 2003, the latter was about 71 percent. It has been relatively stable in later years, but increased by 1.2 percentage points from 2002-03, presumably in response to the general increase in fuel prices. When allocating shares to countries and regions, half of each trip is ascribed to each end.

Annexe 4 : Élasticité-Prix de la demande

Sur base de Brons et al., 2002 et InterVISTAS, 2007

Brons et al., 2002, p.17

design of long run policy instruments. Business passengers are less sensitive to price; this is a common finding in the literature. The difference is about 0.6 ceteris paribus. This fact gives

InterVISTAS, 2007

	Route/Market Level		National Level		Pan-National Level	
	Short-haul	Long-haul	Short-haul	Long-haul	Short-haul	Long-haul
Intra North America	-1.54	-1.40	-0.88	-0.80	-0.66	-0.60
Intra EU / Eco	-1.96*	-1.96	-1.23	-1.12	-0.92	-0.84
Intra Asia	-1.46	-1.33	-0.84	-0.76	-0.63	-0.57
Intra Sub-Sahara Africa	-0.92	-0.84	-0.53	-0.48	-0.40	-0.36
Intra South America	-1.93	-1.75	-1.10	-1.00	-0.83	-0.75
Trans Atlantic (North America – Europe)	-1.85	-1.68	-1.06	-0.96	-0.79	-0.72
Trans Pacific (North America – Asia)	-0.92	-0.84	-0.53	-0.48	-0.40	-0.36
Europe-Asia	-1.39	-1.26	-0.79	-0.72	-0.59	-0.54

p.v

National Level

At the national level, fare elasticities would be expected to be lower still, as travellers have fewer options for avoiding the fare increase. For example, if a national government imposed a new or increased tax on aviation, travellers could only avoid this increase by using another mode (which may not always be possible), or not travelling (or possibly travelling elsewhere). For example, if the UK government imposed an increased tax on aviation, UK residents travelling to mainland Europe could respond by travelling by Eurostar or ferry, or by not travelling. Similarly, travellers in France could respond to the tax by travelling to the UK by rail/ferry or by travelling to another country, such as Germany or Spain.

p.5

National Level: - 0.8

The econometric analysis of all three datasets found that without the route substitution term, the analysis produced elasticities in the region of -0.8. This elasticity is essentially a combination of the route own price elasticity with cross price elasticities when all national routes have prices which vary identically. Thus, the less elastic result is consistent with observations that part of the so called price elasticity observed from LCCs at secondary airports involves diversion from primary airports in the catchment area, or from diversion from trips on other routes. When this is controlled for, LCCs have a lower level of market stimulation, consistent with less elastic national elasticities.

p.iii

Short-Haul/Long-Haul Adjustment

The literature review consistently found that the fare elasticities on short-haul routes were generally higher than on long-haul routes. In part, this reflects the opportunity for inter-modal substitution on short haul routes (e.g., travellers can switch to rail or car in response to air fare increases). While the geographic breakdowns capture some variation by length of haul, there is still considerable variation within each market. In particular, very short-haul flights (approximately less than 1 hour flight time) are subject to greater competition from other modes.

On this basis, the following short-haul multiplicative adjusters can be applied to analysis of short-haul routes:

- Short haul: 1.1 (+10%).

p.iv

→ Sur base de cela :

1) Pour "Eco", prendre les moyennes de "National Level" (InterVISTAS, 2007) :

$$\text{Intra_EU / Eco} = (-1.23-1.12)/2 = \underline{-1.18}$$

$$\text{Extra_EU / Eco} = (-1.06-0.96-0.79-0.72)/4 = \underline{-0.88}$$

2) **Elasticité_Aff** = Elasticité_Eco + 0.6 (Brons , 2002), et donc :

$$\text{Intra_EU / Aff} = \underline{-0.58}$$

$$\text{Extra_EU / Aff} = \underline{-0.28}$$

Méthodologie InterVISTAS (2007)

1) "The base elasticities were developed from the analysis of the various datasets and the generalised findings from the literature review" : National Level (-0.8)

2) "Multiplicative adjustors were then developed to adjust the elasticities to reflect specific markets" :

- facteur multiplicatif suivant "Geographic Market" : Intra Europe (x1.4), North America – Europe

(x1.20), Europe - Asia (x0.90)

- facteur mutiplicatif pour "Short-haul" (x1.1)

=> par ex. calcul de l'élasticité pour "Intra Europe / Short-haul" : $-0.8 \times 1.4 \times 1.1 = -1.23$

Geographic Aviation Market

The econometric analysis of the IATA PaxIS data found considerable differences between aviation markets. Based on this analysis, the following elasticity multipliers have been developed:

Geographic Market	Elasticity Multiplier	Comment
Intra North America	1.00	Most research uses US data. This is our reference point.
Intra Europe	1.40	Shorter average distances, observed use of very low fares resulting great market stimulation. The significantly low fares in Europe (relative to North America) are consistent with higher elasticities in Europe. Traditionally the European market had high charter carrier share, which today is merely being converted to very low fare LCCs.
Intra Asia	0.95	The LCC phenomena is emerging in Asia, but modest sized middle class in many markets suggests somewhat less elastic than in North America
Intra Sub-Sahara Africa	0.60	These economies have limited middle class, resulting in high weight on higher income individuals who are less elastic
Intra South America	1.25	There is an emerging middle class which makes the market more elastic than sub-Saraha Africa, and LCCs are emerging in Brazil, Chile, and Mexico.
Trans Atlantic (North America – Europe)	1.20	This market is often observed to have fares only slightly higher than domestic U.S. fares, consistent with high price elasticity. Market has been well developed by charter carriers, consistent with high price elasticity. Price is likely more important than frequency in this market than in domestic U.S.
Trans Pacific (North America – Asia)	0.60	TransPacific has had no charter services, and continues to have major markets (Japan, China) with less liberal pricing provisions. Some emergence of long haul LCCs (e.g., Oasis) but at present this market seems to be less elastic than domestic US and than the well developed trans Atlantic which serves a substantial middle class
Europe – Asia	0.90	This market has marginally lower elasticities than the U.S. domestic market.

p.iii

Annexe 5 : Prix représentatifs pour les billets aller-retour

Tableau basé sur les prix des billets en franc suisse de l'étude de Brülhart et al. (2020)

		[CHF]	[€]
Court	Economique	170	160 €
	Affaires	740	690 €
Hub	Economique	590	590 €
	Affaires	2 580	2 580 €
Long	Economique	840	780 €
	Affaires	4 650	4 300 €

Tableau basé sur les résultats de mon enquête par questionnaire

PRIX BILLET	Moyenne ENQUETE [€]	Echantillon ENQUETE
Intra_EU	168 €	132
Extra_EU	621 €	85
Moyenne Pondérée 76%Intra/24%Extra	277 €	

Annexe 6 : Émissions CO₂ équivalent en kg par passager-kilomètres

Tableau 1

	50-100	100-180	180-250	> 250			
0-1000	453	314	293				
1000-2000	314	258	216		Valeurs "Moyennes"		
2000-3000	209	237	209				
3000-4000		230	230	251	Intra_EU	280	[gCO ₂ /passager.km]
4000-5000		293	307	258	Extra_EU	230	[gCO ₂ /passager.km]
5000-6000		286	230	223			
6000-7000			223	209			
7000-8000			202	209			
8000-9000			223	230			
9000-10000			216	223			

→ Données récoltées à partir du site Bilan GES de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) en France (<https://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil>) (ADEME, 2019 ;

Hill et al., 2019, p.80

Table 38: CO ₂ emission factors by seating class for passenger flights for 2019 GHG Conversion Factors (excluding distance and RF uplifts)						
Flight type	Cabin Seating Class	Load Factor%	gCO ₂ /pkm	Number of economy seats	% of average gCO ₂ /pkm	% Total seats
Domestic	Weighted average	77.7%	123.6	1.00	100.0%	100.0%
Short-haul	Weighted average	83.5%	76.8	1.02	100.0%	100.0%
	Economy class	83.5%	75.5	1.00	98.4%	96.7%
Long-haul	First/Business class	83.5%	113.3	1.50	147.5%	3.3%
	Weighted average	80.6%	94.9	1.31	100.0%	100.0%
	Economy class	80.6%	72.6	1.00	76.6%	83.0%
	Economy+ class	80.6%	116.2	1.60	122.5%	3.0%
	Business class	80.6%	210.7	2.90	222.1%	11.9%
	First class	80.6%	290.6	4.00	306.3%	2.0%

Short-haul :
Economy : 0.0755
1st/Business : 0.1133
(Bus/Eco = 1.5)

Long-haul :
Economy : 0.0726
1st/Business : 0.2107
(Bus/Eco = 2.9)

! NON compris le forçage radiative !

Brühlhart et al., 2020, p.5

¹³ Les simulations sont basées sur un certain nombre de paramètres supplémentaires. Nous utilisons les prix représentatifs suivants pour les billets aller-retour (en CHF) : 170 pour un vol économique court courrier, 740 pour un vol business court courrier, 590 pour un vol économique long courrier avec escale en Europe, 2580 pour un tel vol en classe affaires, 840 pour un vol économique long courrier sans escale et 4650 pour un tel vol en classe affaires. Nous prenons 670 km comme distance représentative pour le court courrier et 8 000 km comme distance représentative pour le long courrier. Nous supposons que 78 % des voyages sont des voyages court-courriers, 5 % sont des voyages long-courriers via un hub européen et 17 % sont des voyages long-courriers sans escale. Les émissions supposées CO₂ équivalent en kg par km et par personne, y compris le facteur 2 pour les émissions en haute altitude, sont les suivantes: 0,15 en classe économique court courrier et long courrier, 0,23 en classe affaires court courrier, 0,42 en affaires long courrier via un hub et 0,43 en affaires long courrier direct.

Court courrier :
Economy : 0.150
Business : 0.230

Long-haul :
Economy : 0.150
Business : 0.430

!!! y compris le forçage radiative !!!

→ Tableau de calcul des émissions CO₂ en Intra_EU & Extra_EU pour les classes Economique & Affaires sur base des valeurs moyennes

Calcul des émissions CO₂ en Intra_EU & Extra_EU pour les classes Economique & Affaires sur base des valeurs moyennes			Intra_EU	Extra_EU	
%Eco	proportion de passagers en Economique	%Economique/Affaires	97%	86%	
%Aff	proportion de passagers en Affaires	= 1-%Eco	3%	14%	
CO₂_Aff/Eco	ratio des émissions de CO ₂ Affaires/Economique	valeurs "moyennes" sur base des références ci-dessous	1,3	2,5	
		Hill et al., 2019	1,5	2,9	
		Bofinger & Strand, 2013	?	3	
		MyClimate, 2019	1,3	1,9	
		ICAO Carbon Emissions Calculator	1	2	
CO₂moy	émissions de CO ₂ moyen (sans distinction de classes Eco & Aff)	= (%Eco x CO₂_Eco) + (%Aff x CO₂_Aff) = (%Eco x CO₂_Eco) + ((1-%Eco) x CO₂_Eco x CO₂_Aff/Eco) = (%Eco + ((1-%Eco) x CO₂_Aff/Eco)) x CO₂_Eco	0,280	0,230	[kgCO ₂ /Passagers.km]
CO₂_Eco	émissions de CO ₂ pour la classe Economique	= CO₂moy / (%Eco + ((1-%Eco) x CO₂_Aff/Eco))	0,277	0,190	[kgCO ₂ /Passagers.km]
CO₂_Aff	émissions de CO ₂ pour la classe Affaires	= CO₂_Eco x CO₂_Aff/Eco	0,360	0,475	[kgCO ₂ /Passagers.km]

Source du forçage radiatif

Forçage Radiatif - Facteur préconisé = 2 (références scientifiques)
Kollmuss & Myers Crimmins, 2009
Jungbluth & Meili, 2018
MyClimate, 2019

Annexe 7 : Taux de taxe envisagés

Liste non exhaustive de différentes taxes sur les billets d'avion appliquées en Europe

Pays	Type de taxe	Montant de la taxe	
Suisse <i>Brühlhart et al., 2020</i>	taxe sur les billets d'avion	30 à 120 CHF	par pax
Autriche <i>EBAA, 2015</i>	taxe sur les billets d'avion	7€ (court-courrier) 15€ (moyen-courrier) 35€ (long-courrier) → - 50% en 2018 sur chaque taux	par pax
Allemagne <i>EBAA, 2015</i>	taxe de départ sur le transport aérien commercial	7,50€ (court-courrier) → 13,03€ 23,43€ (moyen-courrier) → 33,01€ 42,18€ (long-courrier) → 59,43€ <i>increased to €13-€60 by April 2020 (Parkin, 2019).</i>	<i>"I have tried to briefly review these discussions, and the overall tenor in the years after the introduction was apparently that the effect on demand had been very limited (i.e. not discernible within the swings of the economic cycle). This is unsurprising given that the rates were between €8-€45 only. Now that the rates will be increased to €13-€60 by April 2020 we would expect the same discussion to happen, but with Corona wreaking havoc in the sector it will obviously be impossible to identify any effects of this minor tax hike." (Hassler, 2020, courrier électronique)</i>
UK <i>EBAA, 2015</i> <i>PwC, 2017</i>	Air Passenger Duty	Moins de 2000miles : • economy : 13£ • business : 26£ Plus de 2000miles : • economy : 73£ • business : 146£	par pax
Suède <i>PwC, 2017</i>	taxes sur les billets d'avion	<i>(équivalents en € donnés dans le document)</i> 60 SEK = 6€ (intra-eu) 250 SEK = 26 € (moyen ; <6000km)	

		400 SEK = 42€ (long)	
Pays-Bas <i>Government of the Netherlands, 2019</i>	(2021)	<p>“The exact rate will be set in the 2021 Tax Plan, but it is expected to remain below €7.50 after adjustment for inflation.”</p>	

Annexe 8 : Outil de calcul

Part(Intra/Extra_EU)	[%]				Part(Passagers)	Elasticité-Prix	Distance	CO2	Billet	Taxe	C-Billet	Part(C-Passagers)	Part(C-CO2)
Intra_EU	76,0%				[%]	[-]	[km]	[kg/km/passager]	[€]	[€]	[%]	[%]	[%]
Extra_EU	24,0%		Intra_EU	Economique	73,7%	-1,18	1070 km	0,277	160 €	13,03 €	8,1%	-7,1%	-4,6%
	100,0%			Affaires	2,3%	-0,58	1070 km	0,360	690 €	13,03 €	1,9%	0,0%	0,0%
			Extra_EU	Economique	20,6%	-0,88	4210 km	0,190	780 €	59,43 €	7,6%	-1,4%	-2,4%
				Affaires	3,4%	-0,28	4210 km	0,475	4 300 €	59,43 €	1,4%	0,0%	-0,1%
Part(Economique/Affaires)	Intra_EU	Extra_EU			100,0%					24,17 €		Total(C-Passagers)	Total(C-CO2)
Economique	97,0%	86,0%										-8,5%	-7,1%
Affaires	3,0%	14,0%											
	100,0%	100,0%											

Légende des différentes variables utilisées

Part(Intra/Extra_EU)	[%]	proportion de passagers (par rapport au TOTAL) suivant le type de vol (Intra/Extra_EU)
Part(Economique/Affaires)	[%]	proportion de passagers (par rapport au TOTAL) suivant la classe de billet (Economique/Affaires)
Part(Passagers)	[%]	: proportion de passagers (par rapport au TOTAL) suivant la combinaison de type de vol (Intra/Extra_EU), classe de billet (Economique/Affaires)
		= $\text{Part(Intra/Extra_EU)} \times \text{Part(Economique/Affaires)}$
Billet	[€]	: prix représentatif du billet d'avion suivant la combinaison de type de vol (Intra/Extra_EU), classe de billet (Economique/Affaires)
Taxe	[€]	: taxe sur le prix du billet d'avion suivant la combinaison de type de vol (Intra/Extra_EU) inspirées de celles appliquées en Allemagne
C-Billet	[%]	: variation (par ajout d'une taxe) du prix du billet d'avion suivant la combinaison de type de vol (Intra/Extra_EU), classe de billet (Economique/Affaires)
		= $\frac{\text{Taxe}}{\text{Billet}}$
C-Passagers	[%]	: variation du nombre de passagers suite à une variation du prix du billet d'avion par l'ajout d'une taxe
Elasticité-Prix	[-]	: sensibilité des consommateurs aux variations du prix du billet d'avion suivant la combinaison de type de vol (Intra/Extra_EU), classe de billet (Economique/Affaires)
Part(C-Passagers)	[%]	: part de la variation du nombre total de passagers relative à une combinaison donnée de type de vol (Intra/Extra_EU), classe de billet (Economique/Affaires)
		= $\text{Part(Passagers)} \times \text{Elasticité-Prix} \times \text{C-Billet}$
Total(C-Passagers)	[%]	: variation du nombre total de passagers pour l'ensemble des vols
		= $\text{SOMME}(\text{Part(C-Passagers)})$
Distance	[km]	: distance représentative des vols Intra_EU & Extra_EU
CO2	[kg/km/passager]	: émissions de CO2 suivant le type de vol (Intra/Extra_EU) et la classe de billet (Economique/Affaires)
Part(C-CO2)	[%]	: part de la variation des émissions de CO2 relative à une combinaison donnée de type de vol (Intra/Extra_EU), classe de billet (Economique/Affaires)
		= $\frac{\text{Part(C-Passagers)} \times \text{Distance} \times \text{CO2}}{\text{Moyenne Pondérée (CO2)}}$
Total(C-CO2)	[%]	: variation des émissions de CO2 pour l'ensemble des vols
		= $\text{SOMME}(\text{Part(C-CO2)})$

Annexe 9 : Impact social : estimation de l'impact par classe de revenu

Tableau de la consommation totale des différents quartiles de 2012 à 2018 et de la part des dépenses consacrées au transport aérien.

		2012					2014					2016					2018				
		TOTAL	<Q25	Q25<...<Q50	Q50<...<Q75	>Q75	TOTAL	<Q25	Q25<...<Q50	Q50<...<Q75	>Q75	TOTAL	<Q25	Q25<...<Q50	Q50<...<Q75	>Q75	TOTAL	<Q25	Q25<...<Q50	Q50<...<Q75	>Q75
CONSOMMATION TOTALE	[€]	35 429	19 743	28 402	39 495	54 018	35 922	19 901	30 330	39 588	53 795	34 167	19 394	27 598	38 604	51 057	35 764	21 791	29 517	39 463	52 252
	n	6 581	1 289	1 513	1 875	1 904	6 135	1 155	1 430	1 703	1 847	4 490	836	1 045	1 262	1 347	6 136	1 117	1 446	1 767	1 806
TRANSPORT PAR AVION	[€]	129	38	98	148	231	185	60	164	141	373	157	102	74	170	283	173	39	116	183	352
	n	444	40	100	105	199	472	58	97	118	199	340	35	64	93	148	459	45	103	138	173
	[%]	0,36%	0,19%	0,34%	0,38%	0,43%	0,51%	0,30%	0,54%	0,36%	0,69%	0,46%		0,27%	0,44%	0,55%	0,48%	0,18%	0,39%	0,46%	0,67%

Annexe 10 : Enquête – questionnaire

Enquête

Ce questionnaire vous est proposé dans le cadre du mémoire réalisé en Master en Sciences et Gestion de l'Environnement de l'Université Libre de Bruxelles (ULB) par Charlotte Coppée (Charlotte.Coppee@ulb.be) durant l'année académique 2019-2020.

Cette enquête vise à calculer les effets d'une taxe environnementale sur les émissions de gaz à effet de serre du secteur aérien.

Je vous remercie d'avance pour votre participation à ce questionnaire d'une durée d'environ 5 minutes.

Ce questionnaire est anonyme.

L'enregistrement de vos réponses à ce questionnaire ne contient aucune information permettant de vous identifier.

***Obligatoire**

Mise en contexte

Si vous avez effectué au moins un voyage en avion (avant la crise du Covid-19), pensez à un de ceux-ci et remettez-vous dans la situation « avant de partir » et ne tenez pas compte du fait que le voyage était finalement agréable ou non pour répondre à ce questionnaire !

Si vous avez pensé à plusieurs voyages en avion, merci d'ajouter d'autres voyages en recommençant l'enquête autant de fois que nécessaire.

1. Quelle était la destination de votre voyage (aéroport de départ + aéroport d'arrivée) ? *

2. Quelle était la raison de votre voyage ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Tourisme
 Business
 Visite de famille ou amis

Autre : _____

3. Pouvez-vous donner plus d'informations sur votre motif de voyage :

4. Est-ce que le choix de la destination était non substituable ou a-t-il été influencé par le prix du billet ? *

Une seule réponse possible.

- destination fixe
- destination choisie en fonction du prix du billet

5. Quel était le prix du billet aller retour ? *

6. Si une taxe environnementale avait augmenté le prix du billet, auriez-vous été prêt à payer plus cher ? *

Une seule réponse possible.

- non
- oui, maximum +5%
- oui, maximum +10%
- Autre : _____

7. Si vous aviez acheté ce billet après la crise du COVID-19, combien auriez-vous été prêt.e à payer pour ce même billet ?

8. Si ce voyage avait été réalisable via un autre mode de transport (train ; train de nuit ; TGV ; bus ; etc.) à un prix inférieur (ou égal) à celui du billet d'avion, quel moyen de transport auriez-vous employé ? *

Une seule réponse possible.

- avion
- autre mode de transport (train ; train de nuit ; TGV ; bus ; etc.)

9. Pour quelle(s) raison(s) auriez-vous changé ou non de mode de transport ?

10. De manière générale, à quelle fréquence prenez-vous l'avion sur l'année ? *

Une seule réponse possible.

- 1 fois
- 1 à 3 fois
- plus de 3 fois

Questions de profil

11. A quel genre vous identifiez-vous ?

Une seule réponse possible.

- Femme
- Homme
- Autre

12. Quel âge avez-vous ?

13. Dans quelle tranche de revenus mensuels nets se situe votre foyer ? *

Une seule réponse possible.

- Moins de 1500 euros
- Entre 1500 et 3000 euros
- Entre 3000 et 4500
- Plus de 4500
- (je ne souhaite pas le préciser)

14. Quelle est votre catégorie socio-professionnelle ? *

Une seule réponse possible.

- Indépendant
- Cadre
- Employé
- Ouvrier
- Retraité
- Etudiant
- Autre : _____

15. Quel est votre niveau de diplôme le plus élevé ? *

Une seule réponse possible.

- Primaire
- Secondaire
- Supérieur de type court
- Supérieur de type long et plus

Ce contenu n'est ni rédigé, ni cautionné par Google.

Google Forms

Annexe 11 : Enquête - résultats

Étant donné la quantité de réponses, il n'a pas été possible de les ajouter dans ce document, vous pouvez accéder aux résultats complets via ce lien :

<https://docs.google.com/forms/d/1xYH42KofFOtqzI9z0-RylAbGFilTWdE52FoCnZO4buw/edit?usp=sharing>

Répartition des personnes ayant dit oui ou non à la substitution intermodale & répartition des voyages Intra_EU et Extra_EU des répondants :

Substitution intermodale	94
Avion	123
Intra_EU	132
Extra_EU	85