

UNIVERSITÉ D'AIX-MARSEILLE
FACULTÉ DE DROIT ET DE SCIENCE POLITIQUE

PÔLE TRANSPORTS

INSTITUT DE FORMATION UNIVERSITAIRE ET DE RECHERCHE DU
TRANSPORT AÉRIEN



L'IMPACT DU TRANSPORT AÉRIEN SUR LA QUALITE DE L'AIR ET SUR LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Mémoire pour l'obtention du
Master 2 Droit et management du transport aérien

par

Maxime BESSADIER

Sous la direction de
Mme Julie LABORDE DIT BOURIAT, codirectrice de l'IFURTA
M. Stéphane DUMONT, en sa qualité de maître d'apprentissage

Année universitaire 2018-201

REMERCIEMENTS

Je remercie l'ensemble des agents de la Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile Sud-Est (DSAC-SE) pour leur accueil et pour m'avoir permis d'être au cœur des missions passionnantes de l'aviation civile.

Je tiens particulièrement à remercier Stéphane Dumont, mon maître d'apprentissage à la DSAC-SE et codirecteur de mon mémoire, pour son accueil au sein de la division « Régulation et développement durable », sa bienveillance et sa gentillesse. Véritable puits de connaissances, j'ai beaucoup appris à ses côtés.

Je remercie également Fathi Benkoula ainsi que l'ensemble des agents de cette division très dynamique, avec qui j'ai eu tant de plaisir à travailler.

Enfin, je remercie Madame Laborde, codirectrice de mon mémoire, pour son soutien et ses conseils, ainsi que l'IFURTA et l'ensemble du Pôle transport de l'Université d'Aix-Marseille pour m'avoir donné l'opportunité d'effectuer cette formation de qualité.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	3
SOMMAIRE.....	4
TABLE DES ABRÉVIATIONS.....	5
INTRODUCTION	8
<u>PARTIE I : LA PERTINENCE D'ÉVALUER L'IMPACT DU TRANSPORT AÉRIEN PAR UNE APPROCHE INTÉGRÉE DES PHÉNOMÈNES DE POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE.....</u>	<u>14</u>
CHAPITRE 1 : LA DÉFINITION DES DIFFÉRENTS PHÉNOMÈNES DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE : ENTRE CONFUSION ET DESACCORD	15
CHAPITRE 2 : LA NECESSAIRE ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DU TRANSPORT AÉRIEN DANS LEUR GLOBALITÉ	33
<u>PARTIE II – LES EFFORTS DE RÉDUCTION DU TRANSPORT AÉRIEN : INSUFFISANTS OU MAL CONNUS ?.....</u>	<u>49</u>
CHAPITRE 1 : UN CADRE RÉGLEMENTAIRE FOISONNANT ET HÉTÉROGÈNE	50
CHAPITRE 2 : DES SOLUTIONS ÉMERGENTES TIMIDES ET PEU CONNUES	66
<u>CONCLUSION.....</u>	<u>87</u>
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	<u>89</u>
<u>ANNEXES.....</u>	<u>93</u>
ANNEXE 1 : EFFETS DE CHAQUE POLLUANT SUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTÉ	94
ANNEXE 2 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES ACTIVITÉS POLLUANTES SUR UN AÉROPORT ET DES POLLUANTS ÉMIS	95
ANNEXE 3 : TABLEAU DES NORMES DE QUALITÉ DE L'AIR	96
<u>TABLE DES MATIÈRES</u>	<u>99</u>

TABLE DES ABRÉVIATIONS

A4E : *Airlines for Europe*

AASQA : Association agréée de surveillance de la qualité de l'air

ACA : *Airport Carbon Accreditation*

ACI EUROPE : *Airports Council International Europe*

ACNUSA : Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

AELE : Association européenne de libre-échange

AESA : Agence européenne de la sécurité aérienne (EASA, en anglais)

BIPE : Bureau d'informations et de prévisions économiques

CCNUCC : Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

CE : Conseil de l'Europe

CH₄ : méthane

CITEPA: Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique

CO : monoxyde de carbone

CO₂ : dioxyde de carbone

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

COV : composés organiques volatils

COVNM : composés organiques volatils non méthaniques

DGAC : Direction Générale de l'Aviation Civile

EU ETS: *European Union Emission Trading Scheme*

FNAM : Fédération Nationale de l'Aviation Marchande

GES : gaz à effet de serre

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

H₂O : eau

HC : hydrocarbures

IATA : Association Internationale du Transport Aérien

LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

LTO : *Landing-Take-Off*

MIT : *Massachusetts Institute of Technology*

N₂O : protoxyde d'azote

NO_x : oxydes d'azote

O₃ : ozone

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale

OMS : Organisation mondiale de la Santé

ONU : Organisation des Nations Unies

PM : *particulate matter* (particules en suspension)

PPA : plan de protection de l'atmosphère

SCEQE : système communautaire d'échange de quotas d'émission

SO₂ : dioxyde de soufre

SO_x : oxydes de soufre

SRCAE : schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie

STAC : Service Technique de l'Aviation Civile

TNSA : taxe sur les nuisances sonores aériennes

UE : Union européenne

INTRODUCTION



© Photo NASA

La protection de la planète Terre et la gestion durable de ses ressources est l'un des défis les plus importants que l'Homme se doit de relever en ce XXI^e siècle.

« Référencée AS8-14-2383HR dans l'immense catalogue des photos de la NASA, cette photo est l'une des plus saisissantes et des plus célèbres de toute la conquête spatiale. Pour la toute première fois en effet, notre planète Terre était photographiée en arrière-plan d'un autre corps céleste, la Lune »¹.

Cette photographie historique, prise en 1968 par l'astronaute Bill Anders, nous permet de mieux nous rendre compte de la vulnérabilité de notre irremplaçable et unique « planète bleue », dont nous devons prendre soin.

Avant de se lancer à la conquête de la Lune, les hommes ont d'abord appris à connaître leur territoire terrestre. Plaines, océans, forêts, montagnes, lacs... Aucun milieu, originellement naturel, n'a pas déjà été foulé, navigué ou façonné par l'Homme. Le XX^e siècle annonce sa conquête d'un nouveau milieu :

¹ S. Dumont, Exposition photo « La Lune d'Apollo et de Lure », 2019.

l'air. Le 1er janvier 1914, pour la première fois, un passager achète un billet d'avion sur la première compagnie aérienne de l'histoire de l'aviation, pour relier St. Petersburg à Tampa, en Floride. Ce même jour, les premières émissions atmosphériques de l'histoire du transport aérien commercial sont produites. Avec l'avènement du transport aérien commercial régulier après la Seconde Guerre mondiale, l'Homme prend possession du ciel, laissant une marque invisible mais bien présente dans l'atmosphère.

Ce phénomène, dit de pollution atmosphérique, n'est, cependant, pas nouveau. En matière de qualité de l'air, au XIIIe siècle, un édit royal interdisait déjà l'usage domestique du charbon durant la tenue des sessions du Parlement britannique². En 1852, Robert Angus Smith, chimiste écossais, démontre, pour la première fois, le lien entre les pluies acides et la pollution atmosphérique dans la ville de Manchester³. En France, la notion de pollution atmosphérique fait son apparition avec la loi du 20 avril 1932 (dite loi Morizet), tendant à la suppression des fumées industrielles.

Mais la véritable prise de conscience des dangers de la pollution atmosphérique a lieu à l'ère industrielle, lors de l'épisode de pollution extraordinaire qui frappe la ville de Londres du 5 au 9 décembre 1952 (« *The big smoke* »). Encore une fois, c'est le charbon, utilisé par l'industrie et par les logements privés, qui en est la cause. Le brouillard, formé par les fortes concentrations de dioxyde de soufre (SO₂), de particules et de suies, envahit alors la ville pendant plusieurs jours, provoquant plus de 4 000 décès.

S'ensuit la production d'une série d'instruments législatifs autour du globe sur la qualité de l'air, tels que la première loi sur l'air propre en 1956 au Royaume-Uni (*Clean Air Act*), la loi n° 61-842 du 2 août 1961 sur la lutte contre les pollutions atmosphériques et les odeurs en France ou encore la première loi sur l'air propre aux États-Unis en 1963 (*US Clean Air Act*).

À l'échelle internationale, la première Conférence des Nations unies sur l'environnement de 1972, qui se déroule à Stockholm, se penche sur la question de l'acidification des lacs en Suède. Elle aboutira à la signature en 1979 de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance (dite Convention de Genève). En 1987, l'Organisation mondiale de la

² F. Charvolin, S. Frioux, L. Kamoun, F. Mélard, I. Roussel, *Un air familial ? Sociohistoire des pollutions atmosphériques*, Presse des mines, Sciences sociales, Paris, 2015.

³ Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique : <https://www.citepa.org/fr/>

Santé (OMS) publie les premières lignes directrices en matière de qualité de l'air.

Dans les années 1980, la Communauté économique européenne s'empare de la problématique de la qualité de l'air et adopte les premières normes imposant des valeurs limites concernant la concentration de certains polluants dans l'air⁴.

En France, la loi du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (dite LAURE) vient poser un cadre légal en matière de qualité de l'air. Son article premier énonce le « *droit reconnu à chacun à respirer un air qui ne nuise pas à sa santé* »⁵. Elle pose également une définition de la pollution atmosphérique, qui inclut les phénomènes de changement climatique.

En effet, parallèlement à l'observation des effets de la pollution atmosphérique sur la qualité de l'air et la santé (au niveau local), ses conséquences à l'échelle globale sont progressivement démontrées par la communauté scientifique internationale. Deux phénomènes sont mis à l'étude, tous deux capables d'influer sur le climat terrestre : l'effet de serre, provoqué par l'augmentation des concentrations de certains gaz (comme le dioxyde de carbone) dans l'atmosphère, et la destruction de la couche d'ozone, provoquée par la libération excessive dans l'atmosphère de produits de synthèse provenant des activités humaines.

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) est alors créé en 1988, avec pour mission d'évaluer de façon méthodique et scientifique les risques liés au réchauffement climatique provoqué par l'Homme. Son premier rapport d'évaluation, publié en 1990, sert de base à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) de 1992, qui marque la première tentative, dans le cadre de l'Organisation des Nations Unies (ONU), de remédier au changement climatique.

Le 11 décembre 1997, lors de la 3e Conférence des Parties à la Convention⁶ (COP 3), a été signé le protocole de Kyoto, entré en vigueur le 16 février 2005. Il

⁴ On peut par exemple citer : la directive 82/884/CEE sur une valeur limite pour le plomb contenu dans l'atmosphère ; la directive 84/360/CEE relative à la lutte contre la pollution atmosphérique en provenance des installations industrielles ; la directive 85/203/CEE concernant les normes de qualité de l'air pour le NO₂.

⁵ Loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, art.1.

⁶ La conférence des parties (COP) constitue l'organe suprême de la CCNUCC. Elle se réunit annuellement afin de négocier et de surveiller la mise en œuvre de la Convention.

s'agit d'un instrument juridiquement contraignant, visant à réduire les émissions de six gaz à effet de serre d'au moins 5 % par rapport au niveau de 1990, entre 2008 et 2012. Ce protocole a tracé le chemin pour l'accord de Paris au niveau international et au Grenelle de l'Environnement ainsi qu'à la Loi sur la Transition Énergétique pour la Croissance Verte en France.

Grâce au renforcement de ce cadre réglementaire, couplé au progrès des instruments de mesure et des connaissances, certains polluants ont quasiment disparu ; « l'air que l'on respire aujourd'hui est globalement moins pollué qu'il y a vingt ans »⁷, comme le souligne la commission d'enquête du Sénat sur le coût économique et financier de la pollution de l'air. Cependant, les sources de pollution ont évolué : d'abord majoritairement industrielles, elles sont désormais également liées à d'autres secteurs, comme l'agriculture, le secteur résidentiel et tertiaire ou encore celui des transports. Ainsi, réchauffement climatique et qualité de l'air sont plus que jamais deux enjeux majeurs du XXI^e siècle. Ceci est d'autant plus vrai que l'opinion publique attache une très grande importance à ces deux problématiques : une étude du commissariat général au développement durable relève ainsi qu'en 2014 les deux premières préoccupations des français en matière environnementale étaient le changement climatique et la pollution de l'air⁸.

Face aux enjeux de la pollution atmosphérique, il convient de se demander quelle est la réelle contribution du transport aérien. Avec l'apparition récente des mouvements « anti-avion » notamment en Europe, tel que le *flygskam* en Suède (qui signifie littéralement la « honte de prendre l'avion »), le transport aérien est d'abord montré du doigt pour ses émissions de gaz à effet de serre (GES). Et pour cause, selon un rapport⁹ publié en 2019 par l'Agence européenne de la sécurité aérienne (AESA), l'aviation était responsable de 3,6% des émissions totales de gaz à effet de serre de l'Union européenne en 2016 et de 13,4% des émissions liées aux transports, faisant de l'aviation la deuxième source d'émission de GES des transports, après le trafic routier.

Conjointement à la prise de conscience de l'opinion publique concernant la contribution du secteur aérien à l'effet de serre, son impact sur la qualité de l'air

⁷ Sénat, *Rapport de la commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air*, 2015, p.16.

⁸ Commissariat général au développement durable, « *Opinions et pratiques environnementales des français en 2014* », Chiffres et statistiques, n° 624, avril 2015.

⁹ Agence européenne de la sécurité aérienne, *Rapport « Environnement de l'Aviation Européenne »*, 2019.

(et donc sur la santé) est également devenu une préoccupation importante, surtout pour les riverains habitant au voisinage des plates-formes aéroportuaires. Cela s'est notamment traduit par l'extension des compétences de l'ACNUSA à la pollution atmosphérique en 2010 et par son changement de nom à cette occasion : l'Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores Aéroportuaires est alors devenue l'Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires.

Mais si qualité de l'air et effet de serre semblent *a priori* deux problématiques différentes, il existe bien des similitudes entre les deux. D'abord, les polluants atmosphériques générés par l'aviation proviennent de sources d'émission identiques. Ce mémoire se concentrera sur les sources relatives au trafic aérien et aux activités conduites sur les plates-formes aéroportuaires. En outre, elles ont toutes les deux des effets imbriqués : certains polluants (dits polluants « primaires »), au-delà de nuire à la santé de l'Homme au niveau local, sont également à l'origine de la formation de gaz à effet de serre (GES). Autre exemple, certaines mesures prises par les exploitants aéroportuaires pour limiter les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) peuvent se traduire par une augmentation des rejets de polluants dans l'air local. Ainsi, puisque ces deux problématiques sont étroitement liées, on peut légitimement remettre en question la pertinence de les traiter de façon distincte. Ce mémoire s'attachera donc, dans une première partie, à démontrer que les problématiques de la qualité de l'air et de l'effet de serre doivent être appréhendées de façon intégrée, afin de déterminer la réelle contribution du transport aérien à ces phénomènes.

En outre, par cette approche, des actions de lutte commune peuvent être envisagées, afin d'éviter que certaines stratégies de réduction des émissions de GES aient un impact négatif sur la qualité de l'air et inversement. Malgré tout, il convient de souligner que le transport aérien a d'ores et déjà pris des mesures innovantes pour réduire son impact environnemental (le programme CORSIA¹⁰ adopté récemment par l'OACI¹¹ en est un exemple, parmi d'autres). Alors, comment expliquer la naissance du *flygskam* et, plus récemment, l'annonce de Madame Elisabeth Borne, ministre de la Transition écologique et solidaire, concernant la création d'une écotaxe sur les billets d'avion ? Pour répondre à cette question, la seconde partie de ce mémoire cherchera à comprendre si les

¹⁰ Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation.

¹¹ Organisation de l'Aviation Civile Internationale.

efforts de réduction des émissions entrepris par le transport aérien sont insuffisants ou bien s'ils sont seulement mal connus du public.

Quoi qu'il en soit, le secteur aérien se doit de réagir rapidement pour réduire efficacement ses émissions, tout en communiquant efficacement ses efforts au grand public, sous peine de voir son essor davantage freiné par un « cocktail » de réglementations, de taxes et de mouvements de boycott. Pour cela, l'ensemble des parties prenantes du secteur devra fournir des efforts de réduction tant en termes de gaz à effet de serre que de polluants de l'air local.

PARTIE I : La pertinence d'évaluer l'impact du transport aérien par une approche intégrée des phénomènes de pollution atmosphérique

Depuis le milieu du XXe siècle, le transport aérien est en plein essor. Les retombées économiques et sociales qu'il engendre sont considérables et nombreux sont les pays qui ont choisi de placer ce secteur au cœur de leur politique de développement.

En termes d'impact environnemental, le bilan est cependant moins brillant. Le secteur des transports est en effet générateur de divers composés gazeux ou solides qui, une fois dans l'atmosphère, peuvent avoir de multiples conséquences ; les deux principales sont la dégradation de la qualité de l'air que l'on respire et le réchauffement du climat à la surface terrestre. *A priori*, elles sont complètement distinctes : la première trouve son origine dans les émissions de polluants de l'air local qui sont toxiques pour la respiration humaine et pour les autres espèces vivantes (animales et végétales) ; la deuxième dans les émissions de gaz à effet de serre, comme le dioxyde de carbone (CO₂), sans danger direct et immédiat pour la santé.

Peut-on alors parler de pollution atmosphérique, s'agissant des émissions de gaz à effet de serre ? La réponse n'est pas simple, car selon les auteurs, les sources d'information, les périodes de l'Histoire ou même les pays, les définitions et les termes utilisés diffèrent. Si l'on considère la pollution en termes de toxicité pour l'Homme, les gaz à effet de serre ne doivent pas être considérés comme des polluants. Mais ce n'est pas la position qu'ont adoptée les rédacteurs du code de l'environnement, au sein duquel figure une définition bien plus large de la pollution atmosphérique. Dans une optique de clarification, il faudra s'attacher à la définir dans un premier chapitre, ainsi que les différents termes et phénomènes s'y rattachant.

Les émissions atmosphériques générées par le transport aérien trouvent leur origine dans les mêmes sources (par exemple, les moteurs des avions). En outre, ces émissions ont parfois des effets imbriqués : il arrive que certains polluants soient responsables à la fois de la dégradation de la qualité de l'air et du réchauffement climatique. Pour ces raisons, un second chapitre montrera que les émissions atmosphériques doivent être évaluées dans leur globalité dans le but de déterminer précisément la réelle contribution du transport aérien

aux phénomènes de réchauffement climatique et de dégradation de la qualité de l'air local.

Chapitre 1: La définition des différents phénomènes de la pollution atmosphérique : entre confusion et désaccord

Dioxyde de carbone, ozone, oxydes d'azote, composés organiques volatils... autant d'éléments divers, produits par les mêmes activités du transport aérien, aux conséquences multiples. Cela se traduit par une pluralité de termes. Certains sont liés, comme les termes « réchauffement climatique » et « effet de serre », qui traduisent tous deux l'effet provoqué par les gaz à effet de serre sur le climat terrestre. D'autres, au contraire, s'opposent, comme la qualité de l'air et le réchauffement climatique, dont les effets ne sont pas présents aux mêmes échelles (locale ou régionale pour la première, globale pour le second).

En outre, les définitions attachées à ces termes ne font pas toujours consensus. C'est le cas de la « pollution atmosphérique » qui, selon les sources, englobe les émissions de gaz à effet de serre ou les exclut. Il conviendra donc de définir ce terme, dans une première section, dans laquelle sera fait le choix d'une définition large de la pollution atmosphérique. Cela permettra de respecter l'idée phare de ce mémoire : réchauffement climatique et qualité de l'air sont deux problématiques liées qui doivent être appréhendées de façon intégrée et concomitante.

La deuxième section de ce chapitre s'attachera à présenter les divers phénomènes de la pollution atmosphérique d'origine anthropique (autrement dit, d'origine humaine) et leurs impacts.

Section 1 – L'absence de consensus sur la définition de pollution atmosphérique

L'enjeu de cette section est de définir les termes relatifs aux problématiques de la qualité de l'air et du réchauffement climatique. Ces deux enjeux sont parfois regroupés sous une dénomination commune : la pollution atmosphérique. Cependant, celle-ci n'est pas comprise par tous de la même manière. Si elle est définie par la loi au sein du code de l'environnement de manière large, certains la restreignent au seul périmètre de la qualité de l'air, excluant les émissions de gaz à effet de serre. Qu'en est-il vraiment ?

A) Pollution : brève définition

Avant toute chose, pour savoir ce qui est ou n'est pas une pollution atmosphérique, il convient de définir brièvement ce qu'est une pollution.

Historiquement, le mot « pollution » dérive du latin « *pollutio* » qui signifie la « profanation »¹², en général d'un temple. D'origine culturelle, c'est en 1804 en Grande-Bretagne que ce terme est employé par une cour de justice écossaise, selon le sens qu'on lui connaît actuellement, « *pour condamner des tanneurs ayant altéré une rivière par leurs rejets, par les expressions pollution of the stream et pollution of water* »¹³.

Le Dictionnaire Larousse définit la pollution comme « *la dégradation de l'environnement par des substances (naturelles, chimiques ou radioactives), des déchets (ménagers ou industriels) ou des nuisances diverses (sonores, lumineuses, thermiques, biologiques, etc.)* »¹⁴.

D'un point de vue juridique¹⁵, le mot « pollution » qualifie en général la contamination d'un milieu par un agent polluant au-delà d'un certain seuil défini par une norme. Il peut s'agir de la présence, de la surabondance ou de l'insuffisance d'un élément, de chaleur ou rayonnement dans un milieu ou un contexte où il en est différemment à l'état naturel.

La législation européenne définit classiquement la pollution comme « *l'introduction directe ou indirecte, par l'activité humaine, de substances, de vibrations, de chaleur ou de bruit dans l'air, l'eau ou le sol, susceptibles de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité de l'environnement, d'entraîner des détériorations des biens matériels, une détérioration ou une entrave à l'agrément de l'environnement ou à d'autres utilisations légitimes de ce dernier* »¹⁶.

On constate que le terme de pollution se comprend de façon large puisqu'il englobe une pluralité de phénomènes d'origine anthropique, c'est-à-dire causés par l'Homme. De plus, un polluant est considéré comme tel qu'il soit toxique ou non.

¹² C.-M. Gattel, *Dictionnaire universel de la langue française*, Tome 2, 1827

¹³ F. Jarrige et T. Le Roux, *La Contamination du monde : une histoire des pollutions à l'âge industriel*, Le Seuil, 2017.

¹⁴ Le grand Larousse illustré, *Dictionnaire de la langue française*, 2019.

¹⁵ Wikipedia : https://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution#D%C3%A9finition_1%C3%A9gale

¹⁶ Directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles.

B) Pollution atmosphérique : une définition problématique

La pollution atmosphérique est moins aisée à définir. En effet, il n'existe pas de consensus à l'heure actuelle sur la question.

1) L'absence de définition uniforme à l'échelle internationale

Une définition large de la pollution de l'air est donnée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), qui la caractérise par « la contamination de l'environnement intérieur ou extérieur par un agent chimique, physique ou biologique qui modifie les caractéristiques naturelles de l'atmosphère. »¹⁷. Cette définition englobe dans la notion de pollution de l'air tous les milieux (intérieur et extérieur), mais aussi tous les « types » de pollution de l'air (qu'elle soit due à des facteurs chimiques ou biologiques).

L'OACI (l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale) distingue bien qualité de l'air local et changement climatique, mais elle n'emploie pas le terme de pollution atmosphérique.

De son côté, la réglementation européenne n'en dit pas plus : elle fait mention de qualité de l'air ambiant et de gaz à effet de serre.

La directive 2008/50/CE¹⁸ définit l'air ambiant comme étant « l'air extérieur de la troposphère, à l'exclusion des lieux de travail tels que définis par la directive 89/654/CEE¹⁹ ». Toujours selon cette directive, constitue un polluant « toute substance présente dans l'air ambiant et susceptible d'avoir des effets nocifs sur la santé humaine et/ou sur l'environnement dans son ensemble ».

Concernant les émissions de dioxyde de carbone (CO₂), la directive 2003/87/CE²⁰ établit le système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre européen et parle bien de pollution, mais pas de pollution atmosphérique.

De son côté, le Conseil de l'Europe a retenu, dans sa déclaration de mars 1968, une définition plus restrictive de la pollution atmosphérique, fondée sur la

¹⁷ OMS : https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/fr/

¹⁸ Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.

¹⁹ Directive 89/654/CEE du Conseil du 30 novembre 1989 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé pour les lieux de travail.

²⁰ Directive du Parlement européen et du Conseil 2003/87/CE du 13 octobre 2003 établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre dans la Communauté et modifiant la directive 96/61/CE du Conseil.

seule nocivité²¹, puisqu'il l'a circonscrite aux cas où « la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses composants est susceptible de provoquer un effet nocif, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer ou une nuisance ou une gêne. »

Cette définition se distingue en ce qu'elle retient le critère de l'impact de la pollution, plutôt que son origine²², en adoptant une vision anthropocentrique puisque, selon cette définition, constitue une pollution toute nuisance ou gêne pour l'Homme.

2) La définition légale : une conception extensive

En droit interne, la pollution atmosphérique est définie par la loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (dite « LAURE »). Le code de l'environnement reprend cette définition à l'article L220-2 du Titre II Air et atmosphère : il s'agit de « *l'introduction par l'homme, directement ou indirectement ou la présence, dans l'atmosphère et les espaces clos, d'agents chimiques, biologiques ou physiques ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives* ».

Cette définition est très large puisqu'elle englobe à la fois qualité de l'air et effet de serre. D'ailleurs, ces deux thématiques font l'objet de chapitres distincts au sein du Titre II, en tant que sous-catégories du terme de pollution atmosphérique.

3) La position de la doctrine : une conception restrictive et confuse

Nombreuses sont les sources qui opèrent une distinction entre gaz à effet de serre, responsables du réchauffement climatique, et polluants atmosphériques ayant un effet sur l'air au niveau local. Selon ces sources, pollution atmosphérique et qualité de l'air sont un seul et même enjeu, bien distinct de celui du réchauffement climatique et des gaz à effet de serre. Cette conception sera ici qualifiée de « restrictive », en ce qu'elle exclut les gaz à effet de serre de

²¹ Sénat, *Rapport de la commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air*, 2015, p.45.

²² *Ibid.*

la liste des polluants atmosphériques, par opposition à la conception « large », qui les inclut.

Par exemple, le STAC²³, dans son guide de calcul des émissions dues aux aéronefs²⁴, ne prend pas en compte le dioxyde de carbone dans le calcul de ce qu'il appelle les « émissions de polluants atmosphériques ». Le STAC évacue la question des émissions de gaz à effet de serre en se fondant sur la définition établie par Airparif²⁵ : « *Contrairement aux polluants atmosphériques, les gaz à effet de serre n'ont pas d'effet local sur la santé mais sur le climat à l'échelle de toute la planète* »²⁶.

La raison de cette distinction « gaz à effet de serre / polluants atmosphériques » viendrait notamment du fait que les émissions de gaz à effet de serre et les émissions de polluants de l'air n'ont, d'une part, pas les mêmes effets, et d'autre part, pas le même impact en termes d'échelle.

En termes d'effets d'abord, le critère de la toxicité serait à considérer pour déterminer ce qui relève d'une pollution atmosphérique ou ce qui n'en relève pas. Ce critère est avancé par les partisans de la conception restrictive pour écarter le dioxyde de carbone (CO₂) de la liste des polluants atmosphériques. En effet, ce gaz, dans les concentrations que l'on connaît aujourd'hui, n'a pas d'effet sur la santé. Il convient tout de même de noter qu'à forte dose, il peut avoir un impact sur quiconque le respire, dans des conditions qui relèvent de l'exceptionnel. Ainsi, le CO₂ n'a pas d'impact sur la qualité de l'air local, entendu comme l'air respiré par l'Homme.

En revanche, et comme il sera expliqué par la suite, des études ont pu montrer l'existence d'une corrélation entre les concentrations atmosphériques actuelles en CO₂ et le phénomène récent d'acidification que connaissent les océans, qui participe à la destruction de certains écosystèmes marins. On peut donc remettre en cause le critère de la toxicité car le CO₂ pourrait avoir un impact destructeur sur les écosystèmes, qui demeure, pour l'heure, mal connu de la communauté scientifique.

²³ Le Service Technique de l'Aviation Civile (STAC) est le service technique du pôle régalién de la DGAC. Il est notamment chargé d'élaborer des guides méthodologiques et de diffuser les connaissances techniques en matière environnementale.

²⁴ STAC, *Guide de calcul des émissions dues aux aéronefs*, 2015.

²⁵ Airparif est une association agréée de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) pour la région Île-de-France.

²⁶ Airparif : <http://www.airparif.asso.fr/pollution/effets-de-la-pollution-effet-serre>

En termes d'échelles, « gaz à effet de serre » et « polluants atmosphériques » seraient opposés. Encore une fois, ce critère de distinction fonctionne pour le dioxyde de carbone, qui a un effet à l'échelle globale, contrairement aux polluants nocifs pour l'air local. En revanche, il n'en est rien pour l'ozone : s'il est un gaz à effet de serre, il est également nocif pour l'appareil respiratoire et fait partie des émissions réglementées par les normes relatives à la qualité de l'air. Distinguer les gaz à effet de serre et les polluants de l'air au niveau local n'a donc que peu de pertinence en ce qui concerne l'ozone.

4) Le choix de la conception extensive

Pour de multiples raisons, il sera fait le choix d'adopter la conception extensive de la pollution atmosphérique. D'abord, la conception dite « restrictive » est susceptible de générer de la confusion entre les différents termes et phénomènes. Ensuite, la conception extensive est celle qu'a choisie le législateur au sein-même du code de l'environnement.

En outre, les divers polluants proviennent des mêmes sources. Pourtant, ils font traditionnellement l'objet de mesures de réduction séparées (par exemple, deux directives européennes traitent distinctement de la qualité de l'air et des émissions de dioxyde de carbone). Cela peut conduire à des situations où, certes, la qualité de l'air s'améliore, mais où les émissions de gaz à effet de serre augmentent... ou inversement.

Par conséquent, l'on partira du postulat que le terme de pollution atmosphérique regroupe toutes les émissions ayant un effet local sur la qualité de l'air ou global sur le climat. Ce postulat s'inscrit dans l'esprit de ce mémoire, qui veut démontrer que d'apparence distincte, les problématiques de la qualité de l'air et du réchauffement climatique doivent être pensées comme un seul et même ensemble. C'est pour cette raison qu'elles seront non pas traitées de façon différenciée, mais concomitante, au sein de chaque division de ce mémoire.

Pour plus de clarté concernant la terminologie utilisée, l'expression « polluants de l'air local » sera préférée pour traiter des émissions responsables de la dégradation de la qualité de l'air au niveau local (du lieu d'émission) ; celle de « gaz à effet de serre » sera employée pour discuter de la question du réchauffement climatique. Le terme de « polluants atmosphériques » englobera à la fois les polluants de l'air local et les gaz à effet de serre. Par exemple, l'ozone est un polluant atmosphérique responsable de la dégradation de la qualité de l'air et du réchauffement climatique. Il est donc à la fois un polluant de l'air local et un gaz à effet de serre.

Section 2 – Les différents phénomènes de la pollution atmosphérique et leurs conséquences

La pollution atmosphérique générée par le transport aérien et, plus généralement, par les activités humaines, peut prendre diverses formes et agir à différentes échelles. Ainsi, elle n'emportera pas toujours les mêmes conséquences.

A) Les échelles locale, régionale et planétaire

On distingue classiquement la pollution atmosphérique à l'échelle locale, à l'échelle régionale et à l'échelle globale. Chaque polluant à sa propre durée de vie (ou temps de résidence) dans l'atmosphère²⁷. Les polluants ayant des temps de résidence longs, tels que l'ozone, sont susceptibles de se déplacer sur de très longues distances au gré des masses d'air. Leur impact maximal est donc généralement localisé en dehors des zones d'émission. D'autres polluants, tels que les oxydes d'azote, ont des durées de vie courtes et leurs effets sont perceptibles près des zones d'émission²⁸.

À l'échelle locale, c'est-à-dire aux environs du lieu de leur émission, les polluants peuvent avoir des effets sur la biodiversité locale et sur les populations les plus proches. Cette pollution de proximité est souvent associée à des phénomènes perceptibles par la vue ou l'odorat, et les polluants en jeu ont une durée de vie assez courte dans l'atmosphère²⁹.

En ce qui concerne le transport aérien, les principaux polluants concernés sont les particules en suspension (appelées PM, pour la terminologie anglaise *particulate matter*), les oxydes d'azote (NO_x)³⁰, le dioxyde de soufre (SO₂), le monoxyde de carbone (CO), les composés organiques volatils (COV), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les métaux lourds³¹. Ils sont, pour la plupart, des polluants « primaires » c'est-à-dire émis directement soit

²⁷ La durée de vie d'un polluant dans l'atmosphère dépend notamment de sa réactivité chimique, de la capacité de l'environnement à le capter et des conditions météorologiques.

²⁸ PREV' AIR : <http://www2.prevoir.org/>

²⁹ Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroporutaires : <https://www.acnusa.fr/>

³⁰ Oxydes d'azote (NO_x) : ce terme englobe le dioxyde d'azote (NO₂) et le monoxyde d'azote (NO). L'intervention rapide entre ces deux espèces, due à des réactions complexes, fait que l'on regroupe généralement NO et NO₂ sous la forme NO_x.

³¹ STAC, *Évaluation de la qualité de l'air autour d'un aéroport*, 2015, p.25.

par les activités anthropiques soit par des sources naturelles (comme l'érosion ou le volcanisme).

La pollution de l'atmosphère se manifeste aussi à l'échelle régionale, les polluants pouvant être transportés d'une dizaine à plusieurs centaines, voire un millier de kilomètres de leur lieu d'émission par les phénomènes météorologiques. La plupart du temps, il s'agit de polluants dits « secondaires », qui sont le résultat de transformations physico-chimiques complexes à partir de polluants primaires³². À titre d'exemple, l'ozone est un polluant secondaire puisqu'il se forme lorsque les hydrocarbures (HC) et les oxydes d'azote (NO_x) réagissent avec la lumière du soleil. La pollution atmosphérique à l'échelle régionale peut aussi se manifester sous la forme de pluies acides.

Enfin, à l'échelle planétaire, deux phénomènes principaux de pollution ont été mis en évidence : la destruction de l'ozone stratosphérique (ou « trou » dans la couche d'ozone) et le réchauffement (ou dérèglement) climatique.

Le véritable impact des activités aéroportuaires et du transport aérien à l'échelle planétaire est le dérèglement climatique. À cette échelle, les composés émis vont s'accumuler dans l'atmosphère et y persister pendant plusieurs dizaines, voire centaines d'années. Si le dioxyde de carbone (CO₂) est le gaz à effet de serre qui est le plus montré du doigt, ce n'est pas le seul : l'ozone, en plus d'être un polluant de l'air local, est un gaz à effet de serre lorsqu'il est émis dans la troposphère³³ (la basse couche de l'atmosphère). En revanche, l'ozone troposphérique ne doit pas être confondu avec l'ozone naturellement présent au niveau de la stratosphère³⁴, qui filtre une partie nocive des rayons ultra-violet solaires³⁵. Cet ozone stratosphérique constitue la couche d'ozone, laquelle contribue au refroidissement de la planète³⁶.

³² *Ibid.*, p.11.

³³ La troposphère est la couche de l'atmosphère terrestre située au plus proche de la surface du globe jusqu'à une altitude d'environ 8 à 15 kilomètres.

³⁴ La stratosphère est la seconde couche de l'atmosphère terrestre, se situant au-dessus de la troposphère et jusqu'à une altitude de 50 km.

³⁵ PREV' AIR : <http://www2.prevoir.org/>

³⁶ <https://www.citepa.org/fr/air-et-climat/phenomenes/changement-climatique-effet-de-serre>

B) Les différents phénomènes de la pollution atmosphérique

Les polluants atmosphériques sont susceptibles d'être à l'origine de multiples phénomènes, qu'il conviendra de définir, tels que l'acidification et l'eutrophisation, le changement climatique et l'effet de serre, la pollution photochimique et la dégradation de la qualité de l'air.

1) L'acidification et l'eutrophisation

La pollution acide est liée aux émissions de dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x). Elles peuvent retomber à proximité de leurs sources émettrices (pollution locale) mais aussi à des centaines, voire des milliers de kilomètres (pollution régionale).

L'eutrophisation est principalement liée aux dépôts d'azote provenant des émissions de NO_x. Le dictionnaire Larousse définit ce terme comme « *l'enrichissement d'une eau en sels minéraux (nitrates et phosphates, notamment), entraînant des déséquilibres écologiques tels que la prolifération de la végétation aquatique ou l'appauvrissement du milieu en oxygène* ».

Les phénomènes de pollution acide à grande échelle ont été mis en évidence par l'acidification des eaux des lacs scandinaves et canadiens dans les années 1970. Le pH des eaux est devenu acide, entraînant des modifications importantes de la faune.

Ces polluants se transforment et impactent l'environnement sous forme de retombées sèches ou humides. L'acidification de l'atmosphère est connue depuis très longtemps dans les zones urbaines et/ou industrielles sous le nom bien connu de « *smog londonien* »³⁷. Ce type de smog tend à disparaître depuis quelques dizaines d'années de l'atmosphère des grandes zones urbaines européennes (mais il caractérise encore l'atmosphère de beaucoup de zones urbaines de pays en voie de développement).

2) L'effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel. S'il n'existait pas, la température moyenne sur Terre serait nettement inférieure aux 15°C constatés. C'est l'accroissement et un éventuel emballement du phénomène d'effet de serre qui présentent un risque pour les espèces vivantes de la planète. Ses principales

³⁷ CITEPA : <https://www.citepa.org/fr/air-et-climat/phenomenes/acidification-eutrophisation>

conséquences sont l'augmentation de la température moyenne terrestre et les perturbations sur le cycle de l'eau.

Ce phénomène s'explique car la Terre reçoit directement une certaine partie du rayonnement solaire. La surface terrestre absorbe environ 50% de cette énergie et l'autre portion est absorbée par l'atmosphère (20%) ou réfléchiée par les nuages et par les surfaces claires du sol, telles que les déserts et les glaciers (30%). La surface terrestre réémet à son tour cette énergie reçue, sous forme de rayonnements infrarouges. Ces rayons sont ensuite absorbés par l'atmosphère : c'est l'effet de serre.

L'effet de serre est lié à l'absorption de ces rayonnements infrarouges (renvoyés par la surface terrestre) par les nuages et des composés présents dans l'atmosphère de façon naturelle, tels que le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'eau (H₂O), l'ozone (O₃) et le protoxyde d'azote (N₂O), qui sont des gaz à effet de serre (GES).

On dit que ces gaz ont un forçage radiatif³⁸ positif, car ils ont une capacité à absorber les rayonnements du soleil réfléchis par la surface terrestre. Ces composés engendrent donc un effet de serre naturel, c'est-à-dire un réchauffement de l'atmosphère. Lorsque leur concentration augmente, l'effet de serre s'accroît et la température moyenne augmente. Sans lui, la température moyenne sur terre serait de - 18°C.

Pour comparer les GES, on évalue leur forçage radiatif respectif et leur potentiel de réchauffement global, qui prennent en compte leur durée de vie dans l'atmosphère. Par exemple, la vapeur d'eau est de très loin le principal GES, puisqu'elle représente environ 70% des émissions naturelles et anthropiques de GES. L'essentiel de la vapeur d'eau émise provient du cycle naturel de l'eau. Ayant une durée de vie atmosphérique très courte (de l'ordre de quelques jours), la seule vapeur d'eau anthropique a donc un impact très faible sur le climat³⁹.

³⁸ Le forçage radiatif est une perturbation extérieure imposée au bilan du système climatique de la Terre, qui peut conduire à une variation des paramètres climatiques. Le forçage peut être positif (réchauffement) ou négatif (refroidissement). On peut considérer qu'il représente une « mesure » du changement climatique (Source : site internet du STAC).

³⁹ C. Chkioua, Thèse professionnelle, *Aviation et Climat : "Analyse des moyens d'action publique pour limiter l'impact de l'aviation sur le changement climatique"*, 2009, p.20.

Le carbone suie⁴⁰ constitue un autre forcéur climatique à courte durée de vie. Il résulte de la combustion incomplète d'énergie fossile ou de biomasse et fait partie des PM_{2.5}⁴¹.

Au contraire, le CO₂, le CH₄, le N₂O sont des composés à longue durée de vie. Bien que présents à l'état de trace, ils conduisent donc à un renforcement de l'effet de serre. Le CO₂ a en effet une durée de vie de l'ordre du siècle⁴². Son accumulation dans l'atmosphère lui confère ainsi un fort pouvoir de réchauffement par effet de serre.

Autre gaz à effet de serre, l'ozone (O₃). Naturellement présent dans la stratosphère, il constitue la couche d'ozone, qui protège les êtres vivants des rayons ultraviolets. Par ailleurs, les activités humaines émettent de l'ozone au niveau des basses couches de l'atmosphère, là où ce gaz ne joue pas ce rôle protecteur. Au contraire, à ce niveau, les émissions d'ozone participent à l'effet de serre.

3) La pollution photochimique

La pollution photochimique (ou pollution photo-oxydante) est un ensemble de phénomènes complexes conduisant notamment à la formation d'ozone (O₃) à partir de polluants primaires tels que les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), monoxyde de carbone (CO) et méthane (CH₄), et d'énergie apportée par le rayonnement ultra-violet solaire. Cette pollution atmosphérique riche en ozone, appelée aussi « *smog* », se rencontre dans la basse couche de l'atmosphère (troposphère)⁴³.

L'ozone est donc un polluant secondaire⁴⁴, qui a un effet à la fois sur la santé et sur le réchauffement climatique. Pourtant, ce gaz n'est pas encore pris en compte dans les engagements internationaux de réduction des gaz à effet de serre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC).

⁴⁰ Ce terme est également connu sous le nom de « noir de carbone » ou « carbone noir », faisant directement référence à son nom anglais « *black carbon* ».

⁴¹ Particules en suspension dont le diamètre est inférieur à 2.5 µm.

⁴² STAC, Rapport d'étude, *Intégration de données environnementales dans les études de capacité aéroportuaire*, 2012, p.22.

⁴³ R. Sausen, Institut de Physique de l'Atmosphère du DLR (Allemagne), « *Aviation Radiative Forcing in 2000* », 2005

⁴⁴ CITEPA : <https://www.citepa.org/fr/air-et-climat/phenomenes/pollution-photochimique>

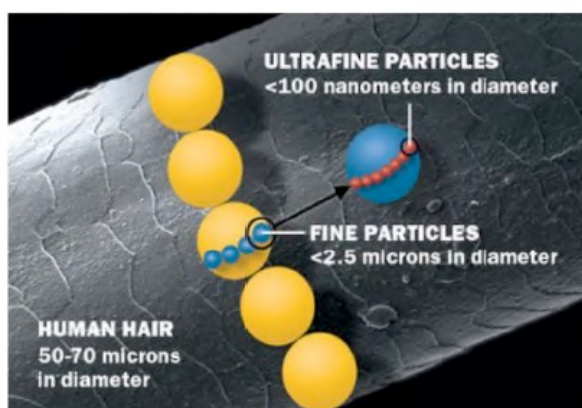
4) La dégradation de la qualité de l'air

Il s'agit de l'introduction dans l'air local de polluants ayant un effet direct sur la santé de l'Homme. Ces polluants peuvent être des particules en suspension, dites « PM »⁴⁵. Le terme de PM regroupe un ensemble très hétérogène de composés. On les distingue généralement suivant leur taille, à savoir :

- les Particules Totales en Suspension (dites « TSP » selon l'acronyme anglais communément utilisé) qui regroupent l'ensemble des particules ;
- les PM₁₀ : particules dont le diamètre est inférieur à 10 µm ;
- les PM_{2.5} ou particules fines : particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm ;
- les PM_{1.0} : particules dont le diamètre est inférieur à 1,0 µm ;
- les PM_{0.1} ou particules ultrafines (PUF)⁴⁶ : particules dont le diamètre est inférieur à 0,1µm.

La figure ci-dessous présente la taille d'une particule ultrafine comparée à un cheveu humain.

Figure 1 — Taille d'une particule comparée à un cheveu humain



Source : ACNUSA, Particules ultrafines et aviation, 2017.

Les particules en suspension ont des effets sur la santé plus ou moins néfastes, selon la quantité respirée et la durée de l'exposition. Par exemple, les PM_{2.5} sont

⁴⁵ « PM » provient de l'expression anglaise « *particulate matter* ».

⁴⁶ ACNUSA, *Particules ultrafines et aviation*, 2017.

suffisamment petites pour pénétrer dans le système respiratoire et l'endommager et même provoquer des cancers⁴⁷.

Les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) participent également à la dégradation de la qualité de l'air, étant irritantes pour les yeux et les voies respiratoires⁴⁸, tout comme les hydrocarbures imbrûlés (HC), parmi lesquels on trouve les composés organiques volatils (COV) et le monoxyde de carbone (CO) et qui sont les résultats de la combustion incomplète du kérosène.

C) Les multiples impacts de la pollution atmosphérique

Les polluants atmosphériques, responsables des phénomènes précédemment évoqués, peuvent avoir des effets considérables, que ce soit sur les écosystèmes, le bâti, la santé ou l'économie.

1) Impact sur les écosystèmes

En premier lieu, la pollution de l'air a un impact sur la pollution de l'eau. En effet, les émissions polluantes sont transportées depuis leur lieu d'émission sur de plus ou moins longues distances. Cette pollution peut alors prendre la forme de pluies acides, responsables de l'acidification des lacs et du dépérissement des forêts.

Par ailleurs, l'accroissement des concentrations en CO₂ contribue à l'acidification des océans, qui absorbent environ le tiers des émissions. Ce phénomène pourrait menacer les écosystèmes marins.

Ce même gaz est en partie responsable du réchauffement climatique, dont l'ampleur et les conséquences restent encore aujourd'hui très difficiles à estimer. Du fait de l'augmentation de l'évaporation, les précipitations augmenteraient. Cependant, les ressources en eau diminueraient dans certaines régions. En raison de la dilatation des océans et de la fonte des glaciers ainsi que de la banquise, le niveau moyen des océans commence à augmenter. Cette augmentation devrait avoir des conséquences dramatiques dans certaines régions très peuplées. Les événements climatiques extrêmes tels que tornades, typhons, inondations, sécheresses, s'accroîtraient. Le réchauffement pourrait

⁴⁷ STAC, Rapport d'étude, *Intégration de données environnementales dans les études de capacité aéroportuaire*, 2012, p.23.

⁴⁸ *Ibid.*

donc avoir de grandes répercussions sur les équilibres sociaux et économiques de la planète.

Concernant la flore, la concentration de certains polluants dans l'air affecte les rendements agricoles, ainsi que la capacité des végétaux à stocker le CO₂. Par exemple, les plantes sont plus ou moins sensibles à l'ozone. Ce dernier provoque des dégâts visibles sur le feuillage (jaunissement par exemple) et entraîne des déficits de croissance. Aussi bien les cultures que la végétation naturelle sont sensibles à ce gaz. Ce constat a été mis en évidence par un groupe de travail de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris)⁴⁹, qui a estimé qu'en 2000, les niveaux d'ozone avaient réduit de 14% les rendements de production de blé en Europe, soit une perte de l'ordre de 3,2 milliards d'euros, et réduit la capacité de stockage du CO₂ par les arbres de 14%⁵⁰.

2) Impact sur le bâti

La teneur de l'air en dioxyde de soufre (SO₂) pourrait avoir des conséquences sur les masses calcaires exposées à la pluie et noircir les bâtiments⁵¹. La teneur de l'air en suies, en SO₂ et en NO₂ pourrait dégrader la transparence du verre⁵². En outre, une étude établissant une projection pour la fin du XXI^{ème} siècle⁵³, montre que les concentrations atmosphériques en CO₂ et leurs retombées sous forme de pluies deviendraient le facteur principal d'érosion des façades des bâtiments en calcaire.

Enfin, les particules en suspension (PM) peuvent se déposer sur les bâtiments et générer des salissures⁵⁴.

⁴⁹ L'Ineris est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) placé sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire. Sa mission est d'évaluer et de prévenir les risques que les activités économiques font peser sur la santé, la sécurité des personnes et des biens ainsi que sur l'environnement.

⁵⁰ Sénat, *Rapport de la commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air*, 2015, p.82.

⁵¹ Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroporutaires : <https://www.acnusa.fr/>

⁵² Sénat, *Rapport de la commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air*, 2015, p.83.

⁵³ A. Bonazza, P. Messina, Science of the Total Environment, « *Mapping the impact of climate change on surface recession of carbonate buildings in Europe* », 2039-2050, 2009.

⁵⁴ STAC, *Rapport d'étude, Intégration de données environnementales dans les études de capacité aéroportuaire*, 2012, p.23.

3) Impact sur la santé

a. Estimations de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique

L'impact sanitaire de la pollution atmosphérique est difficile à estimer. Plusieurs études ont montré que celui-ci est responsable de plusieurs centaines de milliers de décès prématurés rien qu'en Europe. D'après l'OMS, les particules (PM), le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂) et l'ozone troposphérique (O₃) sont les polluants atmosphériques les plus nocifs pour la santé humaine⁵⁵. Au niveau mondial, selon les estimations de l'OMS publiées en mars 2014, 3,7 millions de personnes sont décédées prématurément en 2012 à cause des sources urbaines et rurales de pollution extérieure⁵⁶. Mais ces chiffres cachent de fortes disparités entre les pays, dans la mesure où la pollution atmosphérique a le plus de répercussion en Asie du Sud-Est et dans la région du Pacifique occidental : en 2012, 2,6 millions de décès prématurés étaient liés à la pollution extérieure dans cette zone géographique.

Parallèlement, on constate une évolution à la baisse au niveau européen. Malgré cela, une récente évaluation⁵⁷ de l'OMS et de l'OCDE publiée le 28 avril 2015 a estimé que la pollution atmosphérique avait causé 482 000 décès prématurés dans la zone Europe définie par l'OMS (53 pays) en 2012. De son côté, l'Agence européenne pour l'environnement (AEE)⁵⁸ estime qu'en 2015, 422 000 décès prématurés en Europe (plus de 41 États) sont dus à l'exposition de la population aux PM_{2.5}. L'exposition au dioxyde d'azote (NO₂) et à l'ozone (O₃) aurait provoqué respectivement 79 000 et 17 700 décès⁵⁹. Pour ce qui concerne la France et toujours selon les estimations de l'AEE, les PM_{2.5}, les NO_x et l'O₃ auraient respectivement causé 35 800, 9700 et 1800 décès prématurés en 2015.

Ces chiffres sont corroborés par ceux de la Commission européenne, qui estime que la pollution atmosphérique provoque, en moyenne, plus de 1 000 décès

⁵⁵ OMS : <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/en/>

⁵⁶ Sénat, *Rapport de la commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air*, 2015, p.49.

⁵⁷ OMS, OCDE, *Clean air, health and wealth*, « *Economic cost of the health impact of air pollution in Europe* », 2015.

⁵⁸ L'AEE est une agence de l'Union européenne qui vise à fournir des informations fiables en matière d'environnement aux personnes responsables de l'élaboration des politiques et au public.

⁵⁹ AEE, *Air quality in Europe, 2018 Report*, 2018, p.8.

prématurés par jour au sein de l'Union européenne, chiffre plus de dix fois supérieur à celui des morts par accident de la route⁶⁰.

b. Les effets des polluants sur la santé humaine

Chaque jour, un adulte inhale environ 15 mètres cube d'air en fonction de sa morphologie et de ses activités⁶¹. Selon la durée d'exposition, la concentration des polluants et la sensibilité de chaque individu, la pollution de l'air peut avoir des effets différents, sur le court ou sur le long terme tout au long de la vie.

En octobre 2013, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), agence spécialisée de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), a classifié la pollution de l'air extérieur comme cancérigène pour l'homme.

D'après les informations fournies par le site internet de l'Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires (ACNUSA)⁶², les polluants peuvent avoir de multiples effets sur la santé humaine, causant notamment des maladies respiratoires (asthme, toux, rhinites, angines, bronchiolite, douleur thoracique ou insuffisance respiratoire), cardio-vasculaires (infarctus du myocarde, accidents vasculaires cérébraux, angine de poitrine), des troubles digestifs, rénaux et nerveux. Certains COV, comme le benzène, peuvent être cancérigènes.

En outre, on ne connaît pas encore la part attribuable à ce qu'on appelle « l'effet cocktail »⁶³, c'est-à-dire l'interaction de plusieurs polluants atmosphériques dans l'air extérieur.

Les principaux effets des PM, du NO₂, du SO₂ et de l'O₃ sur la santé sont présentés sur la figure ci-dessous et un tableau récapitulatif des effets de chaque polluant sur l'environnement et la santé est annexé à ce mémoire (cf. Annexe 1).

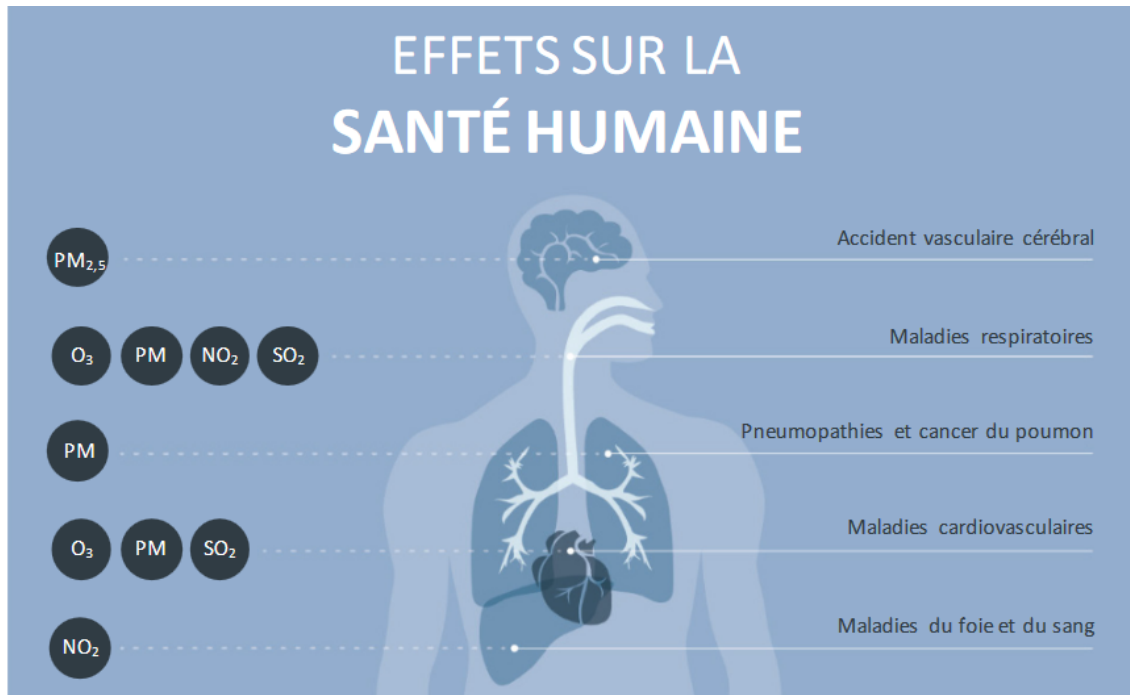
⁶⁰ Commission européenne, communiqué de presse du 16 novembre 2017.

⁶¹ AtmoSud : « L'air et la santé », <https://www.atmosud.org/article/lair-et-la-sante>

⁶² Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires : <https://www.acnusa.fr/>

⁶³ Sénat, *Rapport de la commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air*, 2015, p.54.

Figure 2 — Les principaux effets des PM, du NO₂, du SO₂ et de l'O₃ sur la santé



Source : Rapport de la Cour des comptes européenne, *Pollution de l'air : notre santé n'est toujours pas suffisamment protégée*, 2018, p.13.

4) Impact économique

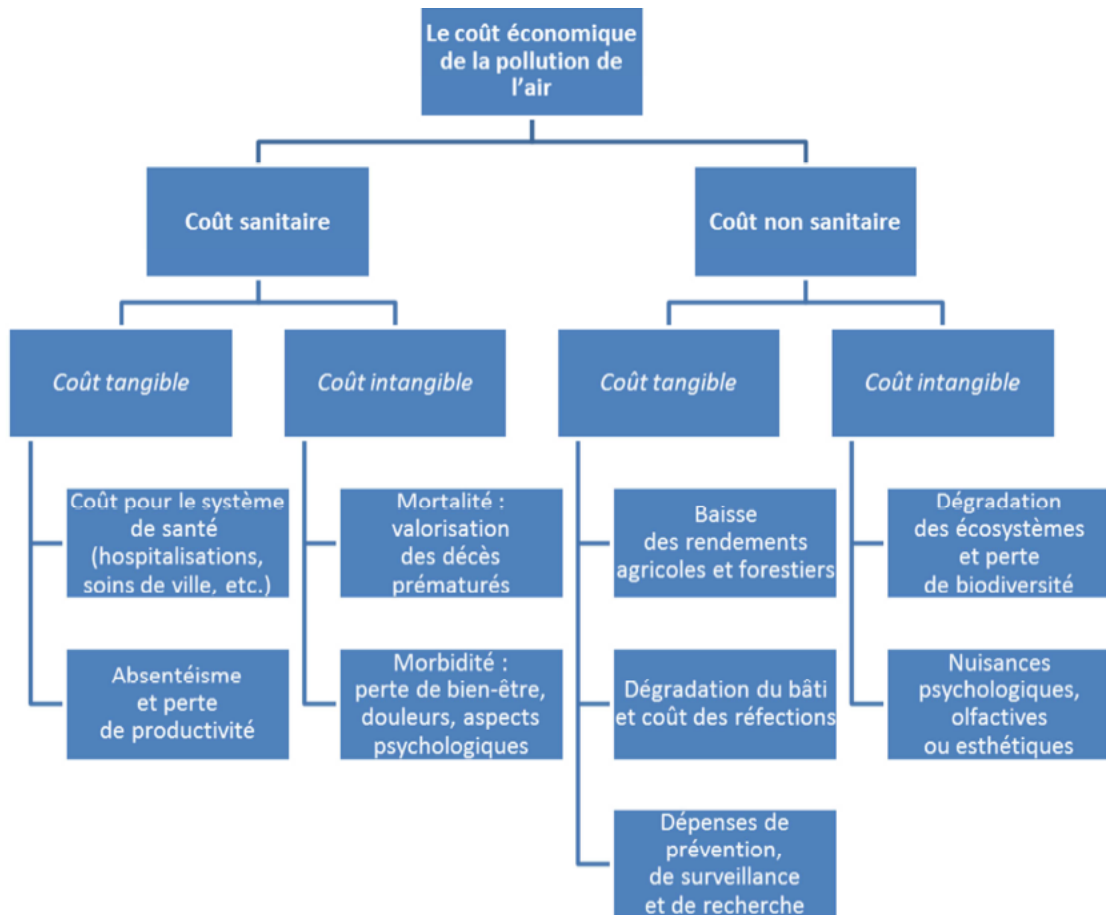
Un rapport de la commission d'enquête du Sénat sur le coût économique et financier de la pollution de l'air a été publié en 2015. Il estime que le coût total de la pollution de l'air extérieur est compris entre 68 et 97 milliards d'euros par an⁶⁴. Ce coût inclut notamment les dépenses de l'assurance maladie, le coût de l'absentéisme ou encore les coûts socio-économiques associés à la mortalité et à la morbidité imputables à la pollution de l'air (ce que la commission d'enquête appelle le coût sanitaire).

Les conséquences économiques de la pollution atmosphérique sur le coût non sanitaire de la pollution atmosphérique, tel que son impact sur les écosystèmes ou sur les rendements agricoles, sont également prises en compte par la commission d'enquête, même si elles ne sont que peu étudiées pour l'instant.

⁶⁴ *Ibid.*, p.18.

La figure ci-dessous liste synthétiquement les postes de dépenses et pertes liées aux effets de la pollution de l'air que la commission a identifiés⁶⁵.

Figure 3 – Synthèse du coût économique de la pollution atmosphérique



Source : Commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air.

Pour conclure ce premier chapitre, la pollution de l'atmosphère se manifeste à trois échelles différentes. À l'échelle locale ou régionale, elle entraîne surtout, mais pas uniquement, des effets sur la santé humaine. Les polluants concernés sont principalement le dioxyde de soufre (SO₂), le dioxyde d'azote (NO_x), l'ozone (O₃), les particules en suspension et les Composés Organiques Volatiles (COV).

⁶⁵ *Ibid.*, p.95.

À l'échelle planétaire, l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, tels que le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O), engendre des risques de modifications climatiques et des répercussions sur la biosphère, sur le niveau des océans, mais aussi sur la santé de l'Homme. Les coûts économiques, sociaux et environnementaux sont donc conséquents et sont très difficiles à évaluer et très souvent sous-estimés, d'autant plus qu'ils sont disparates selon les pays.

Ainsi, afin d'appréhender les phénomènes de pollution atmosphérique de façon précise et de pouvoir définir des stratégies de gestion efficaces, une évaluation exhaustive des émissions de chaque secteur économique est nécessaire, prenant en compte les émissions de gaz à effet de serre et de polluants de l'air local. En ce qui concerne le secteur du transport aérien, il s'agit d'identifier chaque source d'émissions de polluants, de mesurer et inventorier ces émissions par des méthodes rigoureuses et uniformisées.

Chapitre 2 : La nécessaire évaluation des émissions du transport aérien dans leur globalité

Maintenant que les polluants atmosphériques ont été identifiés et leurs impacts détaillés, la question se pose de savoir quel rôle joue réellement le transport aérien dans ces phénomènes de pollution. Pour cela, il est nécessaire de mesurer les émissions qu'il génère et de consigner celles-ci dans des inventaires d'émissions, comme il sera expliqué dans une première section.

C'est grâce à ces mesures que les données obtenues sont ensuite agrégées à l'échelle nationale puis globale, afin de comprendre la part de pollution réellement attribuable au transport aérien, laquelle fera l'objet de la deuxième section.

Section 1 – L'inventaire des émissions générées par le transport aérien

Roulage des avions, ateliers de maintenance, engins de piste... autant d'activités conduites au sein d'une plate-forme aéroportuaire capables de générer de multiples émissions atmosphériques. Aussi bien les compagnies aériennes que les exploitants aéroportuaires se doivent d'identifier leurs sources, de les inventorier, de les mesurer, dans le cadre de leur démarche

environnementale en matière de qualité de l'air et d'effet de serre. Au niveau aéroportuaire, c'est le rôle des inventaires d'émissions, qui permettent, grâce à des logiciels adaptés (logiciels de calcul de la dispersion), non seulement de connaître l'état de pollution atmosphérique en tout point d'un territoire donné, mais également de répondre à la réglementation en vigueur⁶⁶. En effet, la connaissance des émissions de polluants dans l'atmosphère est la première étape de l'application de toute réglementation en matière de qualité de l'air ou d'effet de serre.

Selon leur objectif, différents types d'inventaires existent⁶⁷ :

- les inventaires supranationaux (ex : EDGAR⁶⁸, EMEP⁶⁹...), qui permettent notamment de vérifier le respect des engagements internationaux ;
- les inventaires nationaux (ex : inventaires au format SECTEN du CITEPA), qui permettent d'évaluer les politiques nationales ;
- les inventaires locaux (par exemple utilisés pour caractériser les émissions de polluants sur l'ensemble de la plate-forme, ou pour le respect des PPA⁷⁰ et des SRCAE⁷¹).

Au niveau local, l'exploitant d'aéroport peut conduire cette évaluation avec ses propres moyens internes ou bien faire appel à des intervenants extérieurs (ce qui est le plus fréquent⁷²), tels que les AASQA⁷³. Il existe aussi des outils permettant de calculer les quantités de polluants émis par les avions et par l'activité aéroportuaire au sol. La DGAC a mis à disposition des exploitants d'aéroport plusieurs guides techniques leur permettant d'identifier les sources d'émissions de polluants et de réaliser des inventaires d'émissions.

Au sein des plates-formes aéroportuaires, il existe une pluralité de sources émettrices, comme l'ACNUSA le détaille dans la figure ci-dessous représentée.

⁶⁶ STAC, *Guide de calcul des émissions dues aux aéronefs*, 2015, p.7.

⁶⁷ ACNUSA, *Guide méthodologique à destination des aéroports pour évaluer leur impact sur la qualité de l'air locale*, 2016, p.22.

⁶⁸ « *Emissions Database for Global Atmospheric Research* ».

⁶⁹ « *European Monitoring and Evaluation Programme* ».

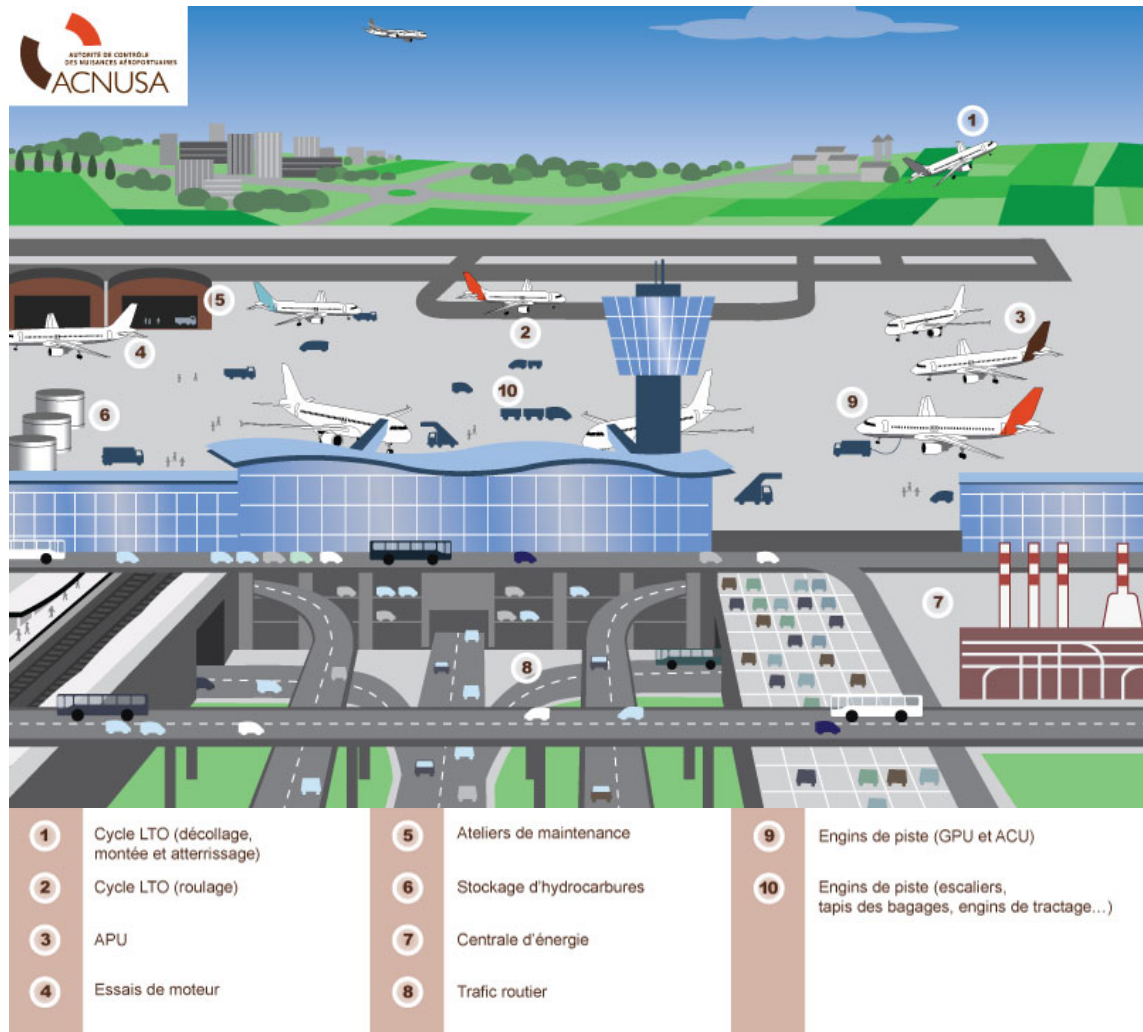
⁷⁰ Plans de protection de l'atmosphère.

⁷¹ Schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie.

⁷² STAC, *Évaluation de la qualité de l'air autour d'un aéroport*, 2015, p.34.

⁷³ Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air.

Figure 4 — Les sources d'émissions polluantes sur les plates-formes aéroportuaires.



Source : ACNUSA.

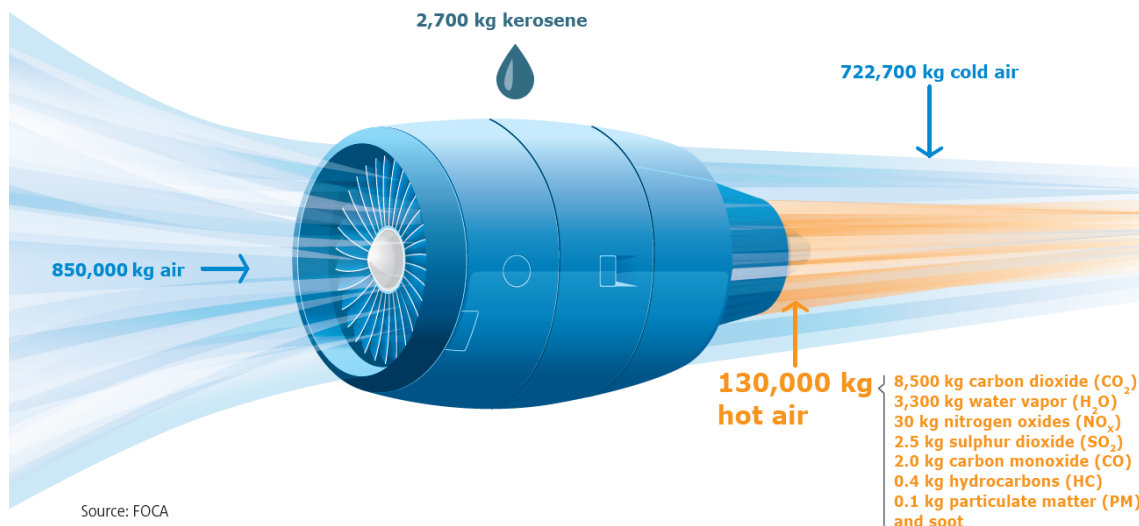
Schématiquement, les aéronefs, les activités aéroportuaires et le trafic routier induit sont les trois principaux postes d'émissions de polluants générés lors d'un transport aérien commercial.

A) La pollution atmosphérique émise par les aéronefs

Les moteurs des aéronefs génèrent des émissions de polluants atmosphériques lors de la combustion du carburant. Comme schématisé ci-dessous, les moteurs d'avions émettent principalement du CO₂ et de la vapeur d'eau. Sont également émis des oxydes d'azote (NO_x), des hydrocarbures imbrûlés (HC), du

monoxyde de carbone (CO), des particules en suspension, du carbone suie et du dioxyde de soufre (SO₂)⁷⁴.

Figure 5 – Émissions d'un avion classique à deux réacteurs pendant une heure emportant 150 passagers.



Source : Agence européenne de la sécurité aérienne, Rapport « *Environnement de l'Aviation Européenne* », 2019, p.22

Selon l'altitude et les phases de vol, les émissions n'auront pas forcément les mêmes effets sur l'environnement. Par exemple, au-dessus de 3 000 pieds sol⁷⁵, les émissions polluantes ne seront pas prises en compte s'agissant de la problématique de la qualité de l'air local. En effet, il est considéré que les polluants de l'air sont largement dispersés et n'auront pas d'effet significatif sur la santé.

De même, les conséquences diffèrent selon la phase de vol : pendant le décollage, les moteurs sont à pleine puissance et émettront donc plus de polluants que lors du roulage.

⁷⁴ STAC, *Guide de calcul des émissions dues aux avions*, 2015.

⁷⁵ Cette hauteur est une convention fixée par l'OACI ; cela correspond environ à 915 mètres d'altitude.

1) Les émissions au-dessus de 3000 pieds de hauteur

Il s'agit des phases de fin de montée, de croisière et de descente. Les émissions concernées ont un impact local sans conséquence notable. En revanche, à l'échelle planétaire, elles contribuent au réchauffement climatique.

C'est le cas des émissions de dioxyde de carbone (CO₂). Durant ces phases de vol, la combustion de 1 kg de kérosène provoque l'émission de 3,15 kg de CO₂⁷⁶. Le dioxyde de carbone étant l'un des principaux gaz à effet de serre, le transport aérien contribue donc au dérèglement climatique.

Comme l'avait déjà constaté C. Chkioua dans sa thèse reprise par le STAC dans un rapport de 2009, « *l'impact du transport aérien sur le climat ne se limite pas aux émissions de CO₂, mais l'appréhension du phénomène dans sa globalité se heurte à l'absence d'un socle commun de connaissance* »⁷⁷. Par exemple, les NO_x (oxydes d'azote) et les particules émis en altitude par les avions augmentent également l'effet radiatif du transport aérien, mais les connaissances scientifiques concernant l'ampleur de leur impact demeurent imprécises.

Autre exemple, l'émission d'oxydes de soufre (SO_x) par les moteurs des aéronefs est à l'origine des traînées de condensation⁷⁸. Celles-ci peuvent augmenter la nébulosité en cirrus, qui sont des nuages fins et translucides, situés à environ 5 kilomètres d'altitude. Les cirrus absorbent et diffusent les infrarouges, ce qui contribue à réchauffer encore davantage l'atmosphère. Tout comme les émissions de NO_x, il existe pour l'heure un fort degré d'incertitude pour quantifier l'impact des émissions de SO_x par l'aviation sur les changements climatiques. Si ces émissions ont un temps de présence atmosphérique plus court que les GES, il n'en demeure pas moins qu'elles peuvent avoir un impact climatique important. En effet, leurs sources émettent en permanence, étant donné l'ampleur du trafic aérien actuel. Les connaissances scientifiques doivent donc être encore approfondies, afin de déterminer si un réel lien existe entre les traînées de condensation à durée de vie courte, les cirrus « artificiels » qui pourraient en découler et le réchauffement climatique.

À noter qu'à l'altitude des vols supersoniques⁷⁹, les émissions de NO_x détruisent la couche d'ozone stratosphérique⁸⁰. Mais depuis la mise à la retraite

⁷⁶ C. Chkioua, Thèse professionnelle, *Aviation et Climat : "Analyse des moyens d'action publique pour limiter l'impact de l'aviation sur le changement climatique"*, 2009, p.24.

⁷⁷ *Ibid.* p.7.

⁷⁸ *Ibid.* p.25.

⁷⁹ Le Concorde avait une altitude de croisière comprise entre 16 000 et 18 000 mètres.

de Concorde, plus aucun avion de ligne ne propose ce type de vol, même si certaines entreprises n'ont pas abandonné l'idée. Par exemple, la société américaine Boom Supersonic vient de lever 87 millions d'euros pour financer la mise au point du prototype de son futur aéronef volant à 2300 km/h avec 55 passagers à son bord⁸¹.

2) Les émissions en-dessous de 3000 pieds de hauteur

Cette hauteur correspond aux phases d'approche, de circulation au sol (roulage), de décollage et de montée telles que définies par l'OACI selon le cycle de décollage et d'atterrissage (CDA, ou cycle LTO⁸², en anglais, pour « *Landing-Take-Off* »)⁸³. Lors du cycle LTO, les aéronefs émettent divers polluants atmosphériques, tels que les oxydes de soufre (SO_x) et les oxydes d'azote (NO_x), qui sont principalement rejetés quand les moteurs fonctionnent à des régimes hauts (décollage et montée). Outre leur effet sur la santé ou sur le phénomène des pluies acides, les NO_x sont des précurseurs de l'ozone, c'est-à-dire qu'ils participent à des réactions chimiques qui ont pour effet de créer de l'ozone⁸⁴, gaz responsable à la fois de l'effet de serre et de la dégradation de la qualité de l'air local. Le polluant secondaire qu'est l'ozone peut donc se former très loin des sources d'émission de ses précurseurs. Il est donc difficile d'isoler la réelle contribution des aéroports⁸⁵.

Monoxyde de carbone (CO), hydrocarbures imbrûlés (HC)⁸⁶ et composés organiques volatils (COV) sont également émis par les moteurs d'aéronefs. Ils sont les résultats de la combustion incomplète du kérosène et ils sont surtout produits lorsque les moteurs tournent à des régimes bas (stationnement et

⁸⁰ J.E. Penner, « *Aviation and the Global Atmosphere* », sur GIEC, 1999.

⁸¹ C. Peltier, « *Le « premier avion supersonique économiquement viable au monde » est bientôt prêt* », dans L'ECHO touristique [En ligne], <https://www.lechotouristique.com/article/le-premier-avion-supersonique-economiquement-viable-au-monde-est-bientot-pret> (page consultée le 15 janvier 2019).

⁸² Le cycle LTO est utilisé dans le processus de certification des émissions des moteurs et est défini dans l'annexe 16 - volume II de l'OACI. Ce cycle théorique inclut l'ensemble des opérations de l'avion, du sol jusqu'à une hauteur de 3 000 pieds (environ 915 m), qui correspond à la hauteur de la couche limite directement affectée par les phénomènes se produisant en surface à l'échelle locale, tels que la pollution, les vents locaux, etc.

⁸³ STAC, *Guide de calcul des émissions dues aux aéronefs*, 2015, p.11.

⁸⁴ R. Sausen, Institut de Physique de l'Atmosphère du DLR (Allemagne), « *Aviation Radiative Forcing in 2000* », 2005.

⁸⁵ ACNUSA, *Guide méthodologique à destination des aéroports pour évaluer leur impact sur la qualité de l'air locale*, 2016, p.31.

⁸⁶ Il est à noter que les composés organiques volatils (COV) font partie des hydrocarbures imbrûlés émis par les moteurs d'avions.

roulage au sol). Ces émissions peuvent générer des nuisances pour les riverains et le personnel travaillant sur la zone aéroportuaire, « *allant d'un simple inconfort olfactif à des risques majeurs pour la santé* »⁸⁷.

Selon la taille de la plate-forme, la quantité d'émissions générée sera différente. En effet, le temps de roulage dépend essentiellement de deux facteurs. Plus la plate-forme est grande, plus la distance entre le parking et la piste est longue. D'autre part, plus le trafic est dense, plus l'attente de l'autorisation de s'aligner en bout de piste peut être longue⁸⁸.

En outre, cette quantité d'émissions sera aussi fonction du régime de poussée des moteurs : un aéronef émettra bien plus de polluants au décollage qu'au roulage. À ce propos, une base de données issue de l'OACI⁸⁹ répertorie les émissions en se basant sur les résultats de la certification des réacteurs pour chaque phase du cycle LTO.

B) La pollution atmosphérique due aux activités aéroportuaires

Pour les activités aéroportuaires au sol, la DGAC a confié au CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Études sur la Pollution Atmosphérique) la réalisation de guides qui décrivent de manière détaillée toutes les étapes de calcul pour chaque source d'émission. Le guide principal⁹⁰ qui couvre l'ensemble des polluants atmosphériques (gaz à effet de serre dont le CO₂, polluants locaux comme les oxydes d'azotes, les composés organiques volatils, les particules, etc.) est accompagné d'un supplément dédié aux moteurs auxiliaires des avions (APU)⁹¹. Ces guides sont principalement destinés aux exploitants d'aéroports ainsi qu'aux associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA).

Dans son guide méthodologique⁹², le CITEPA explique qu'une plate-forme aéroportuaire « *se caractérise par une emprise au sol et un ensemble d'activités*

⁸⁷ STAC, *Rapport d'étude, Intégration de données environnementales dans les études de capacité aéroportuaire*, 2012, p.23.

⁸⁸ STAC, *Évaluation de la qualité de l'air autour d'un aéroport*, 2015, p.15.

⁸⁹ OACI, *Airport Air Quality Manual*, document 9889.

⁹⁰ *Guide méthodologique pour la détermination des émissions dans l'atmosphère d'une zone aéroportuaire à l'exception des aéronefs*, 2013.

⁹¹ *Guide méthodologique pour la détermination des émissions dans l'atmosphère des APU*, 2007.

⁹² CITEPA, *Guide méthodologique pour la détermination des émissions dans l'atmosphère d'une zone aéroportuaire à l'exception des aéronefs*, 2013, p.14.

anthropiques ». Tout d'abord, l'emprise au sol comprend les pistes et l'ensemble des zones où se concentrent les activités aéroportuaires (aires de mouvement). Manutention des bagages, chauffage des locaux de l'aérogare et utilisation des véhicules de service sur les pistes, sont des exemples d'activités directement en relation avec le transport aérien.

Il existe ensuite des parcelles de l'emprise aéroportuaire qui ne sont pas exclusivement dédiées au transport aérien (habitations, activités industrielles, axes de communication routière et ferroviaire, etc.) mais qui génèrent de la pollution atmosphérique.

Enfin, doit être prise en compte la pollution atmosphérique due au trafic routier induit par la plate-forme, qui circule en dehors des pistes (voitures particulières, véhicules utilitaires, bus).

1) Le moteur auxiliaire de puissance (APU)

L'APU (*Auxiliary Power Unit*) est une petite turbine auxiliaire embarquée, souvent logée dans la pointe arrière de l'avion, destinée à l'alimenter en électricité et en air comprimé lorsque les moteurs ne tournent pas⁹³. L'air comprimé sera utilisé soit pour démarrer les moteurs, soit pour climatiser (voire même, dans certains cas, pressuriser) l'avion⁹⁴.

L'APU est utilisé lors d'une escale, notamment lorsque l'avion ne dispose pas d'autres sources d'énergie telles que les branchements 400 Hz, les GPU (*Ground Power Unit*) et les PCA (*Pre-Conditioned Air* ou unité de pré-conditionnement d'air)⁹⁵.

L'APU consomme une quantité relativement importante de carburant, de sorte qu'il n'est pas possible de négliger les émissions qui en résultent lors du calcul d'un bilan des émissions des avions⁹⁶.

2) Les activités nécessaires au fonctionnement des aéronefs

De nombreuses autres activités susceptibles de générer des polluants atmosphériques sont identifiées par les guides techniques de la DGAC. Parmi

⁹³ STAC, Rapport d'étude, *Intégration de données environnementales dans les études de capacité aéroportuaire*, 2012, p.27.

⁹⁴ STAC, *Évaluation de la qualité de l'air autour d'un aéroport*, 2015, p.16.

⁹⁵ *Ibid.*

⁹⁶ STAC, Rapport d'étude, *Intégration de données environnementales dans les études de capacité aéroportuaire*, 2012, p.27.

elles, on trouve notamment l'avitaillement et le stockage de carburant, les opérations d'antigivrage et de dégivrage des aéronefs, la maintenance, le nettoyage et la peinture des aéronefs, les stations-service, la centrale d'énergie (généralement située à l'extérieur de la plate-forme), les groupes électrogènes, les *Ground Power Units* (GPU)⁹⁷, ou encore les véhicules de service dans la zone réservée de l'aéroport (cars, camions avitailleurs en carburant, véhicules de piste, etc.).

Toutes ces activités doivent être prises en compte lors de l'élaboration d'un inventaire des émissions de la plate-forme aéroportuaire. Un tableau récapitulatif des activités polluantes, extrait du guide technique fourni par le STAC⁹⁸, est annexé à ce mémoire (*cf.* Annexe 2).

C) La pollution atmosphérique due au trafic routier extérieur induit par la plate-forme aéroportuaire

La plate-forme aéroportuaire génère d'importants flux de trafic routier. On trouve par exemple les véhicules des particuliers venant déposer ou récupérer des passagers, les bus ou encore les poids lourds pour le fret.

Cependant et comme l'ACNUSA l'a relevé, le périmètre de comptabilisation des émissions « *reste un point délicat* »⁹⁹ : si les véhicules circulant en zone de parking et de dépose-minute doivent être pris en compte, il reste difficile d'estimer les émissions de polluants dues à la circulation routière vers et de la plate-forme.

Aéronefs, activités aéroportuaires et trafic routier induit par la plate-forme sont donc des sources d'émissions susceptibles de participer à la fois aux phénomènes de réchauffement climatique et de dégradation de la qualité de l'air. La réalisation d'inventaires d'émissions tenant compte de tous les polluants atmosphériques permet de mesurer l'impact de l'aviation sur l'environnement à toutes les échelles de pollution (globale comme locale).

⁹⁷ Le GPU est un moteur diesel auquel l'avion peut être connecté lorsqu'il arrive à l'escale. Il sert à assurer la climatisation de l'aéronef ou encore son éclairage au sol, ses moteurs étant éteints. Il permet de remplacer l'APU, mais ne sert pas à démarrer les moteurs de l'avion.

⁹⁸ STAC, *Évaluation de la qualité de l'air autour d'un aéroport*, 2015, p.25.

⁹⁹ ACNUSA, *Guide méthodologique à destination des aéroports pour évaluer leur impact sur la qualité de l'air locale*, 2016, p.29.

Section 2 – La contribution du transport aérien aux phénomènes de pollution atmosphérique

C'est notamment à partir des inventaires d'émissions qu'il est possible de déterminer la réelle contribution du transport aérien aux phénomènes de pollution atmosphérique, qu'il s'agisse d'émissions de gaz à effet de serre (GES) ou de polluants de l'air local.

A) Les émissions de gaz à effet de serre

La DGAC a développé un logiciel – le calculateur Tarmaac¹⁰⁰ – qui permet de quantifier les émissions de CO₂ selon le type d'avion, le type de moteur, la liaison (origine-destination), le temps de roulage, entre autres. Il est notamment utilisé pour établir l'inventaire des émissions du trafic aérien de la France établi dans le cadre des engagements pris lors du protocole de Kyoto.

Grâce à ses données, la DGAC peut fournir aux organismes qui en font la demande, notamment les exploitants d'aéroports ou les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA), les résultats de ces calculs sur un aéroport donné. Cela permet aussi d'alimenter Ecocal¹⁰¹, l'outil en ligne de la DGAC pour le calcul des émissions de CO₂ et gaz à effet de serre, avec lequel tout voyageur peut connaître les émissions liées à son vol¹⁰².

Selon TARMAAC, en 2017, les émissions de CO₂ pour le transport aérien en France se sont élevées à 21,9 Mt (millions de tonnes)¹⁰³, dont 17,4 Mt (79,6%) pour le transport aérien international. Parallèlement, entre 2000 et 2017, le nombre de passagers équivalents-kilomètres-transportés (PKTeq)¹⁰⁴ a augmenté de 54 % en France tandis que la croissance des émissions de CO₂ du transport aérien a été limitée à 14%, soit une diminution de 26% des émissions de CO₂ par passager équivalent-kilomètre-transporté. On remarque ainsi les progrès

¹⁰⁰ Tarmaac pour Traitements et Analyses des Rejets éMis dans l'Atmosphère par l'Aviation Civile.

¹⁰¹ On trouve son calculateur en ligne à l'adresse suivante : <https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr/>

¹⁰² Direction du Transport Aérien, LES ÉMISSIONS GAZEUSES liées au trafic aérien France en 2017.

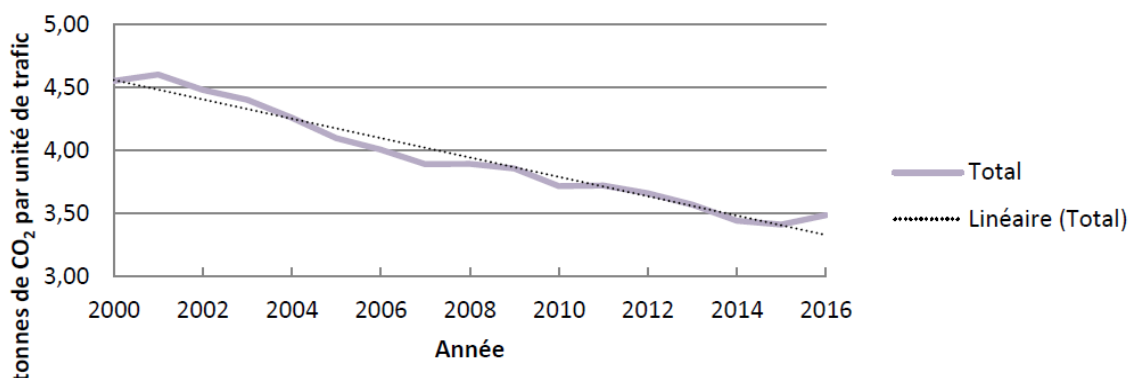
¹⁰³ Les émissions de CO₂ pour l'ensemble du trafic aérien (aviation commerciale et non commerciale) se sont élevées à 22,5 Mt.

¹⁰⁴ L'unité de mesure de trafic « passagers équivalents-kilomètres-transportés » correspond au transport d'un passager ou 100 kg de fret sur une distance d'un kilomètre.

continus du secteur en matière de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre, dus notamment à l'amélioration des performances techniques des aéronefs et des procédures opérationnelles de la circulation aérienne. Cependant, ces chiffres encourageants ne doivent pas occulter le fait que l'activité du transport aérien est en hausse (on comptait 172,38 millions de passagers en 2018, en hausse de 5,08% par rapport à 2016¹⁰⁵) et que les émissions nettes de GES ne cessent de progresser. De même, à l'échelle de l'Union européenne, l'aviation représentait 3,6% des émissions totales de gaz à effet de serre en 2016 (+10% par rapport à 2014) et 13,4% des émissions issues du transport¹⁰⁶.

Il convient de saluer les efforts réalisés par les plus grands aéroports français pour réduire leurs émissions de GES. A titre d'illustration, la DGAC a établi sur la période 2000-2016 les émissions de CO₂ par passager équivalent, pour la phase de roulage sur les 11 aéroports¹⁰⁷ suivis par l'ACNUSA. Elles ont diminué de 1,9% par an en moyenne, sur l'ensemble des 11 aéroports¹⁰⁸. Cette évolution est représentée dans le tableau ci-dessous.

Figure 6 — Évolution des émissions de CO₂ par unité de trafic pour la phase de roulage entre 2000 et 2016.



Source : DGAC

¹⁰⁵ DGAC, « *Bulletin statistique du trafic aérien commercial* », 2018.

¹⁰⁶ AESA, *Rapport Environnement de l'Aviation Européenne*, 2019

¹⁰⁷ Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly, Paris-Le Bourget, Bâle-Mulhouse, Lyon-Saint-Exupéry, Nice-Côte d'Azur, Marseille-Provence, Toulouse-Blagnac, Bordeaux-Mérignac, Nantes-Atlantique, Beauvais-Tillé.

¹⁰⁸ ADEME, *Bilan national du programme d'actions des aéroports établi par l'ADEME en application du décret n°2016-565 et de l'article 45 de la loi n°2015-992*, 2018.

Cependant, des facteurs autres que les efforts aéroportuaires expliquent en grande partie la réduction des émissions de l'aviation au roulage, notamment l'augmentation de l'emport des avions.

Il convient aussi de noter que sur les 21,9 millions de tonnes de CO₂ émis par l'aviation commerciale en France en 2017, 2,0 Mt était attribuées à la phase LTO (9,3%), 0,3 Mt aux APU (1,2%) et 19,6 Mt à la croisière (89,6%)¹⁰⁹. Ainsi, même si la majeure partie des émissions de GES sont générées en phase de croisière, des progrès restent à faire au niveau aéroportuaire pour diminuer la part relative aux phases LTO et à l'utilisation de l'APU au sol.

Le transport aérien est aussi à l'origine d'autres polluants atmosphériques que le CO₂, qui ont une action sur le réchauffement climatique. Ainsi, le GIEC estime que l'impact de l'aviation sur le climat est deux à quatre fois supérieur à celui de ses seules émissions de dioxyde de carbone. Selon son cinquième rapport d'évaluation¹¹⁰ l'ozone formé notamment à partir des émissions de polluants (comme le NO_x et les particules fines) par les moteurs des aéronefs dans la troposphère est considéré comme le troisième gaz à effet de serre en termes de forçage radiatif. Cependant, les connaissances scientifiques sur l'amplitude de leurs effets sont encore limitées et l'on peut regretter que la législation en la matière se focalise uniquement sur le dioxyde de carbone, dont la part des émissions mondiale attribuée à l'aviation est de 2%.

B) Les émissions de polluants de l'air local

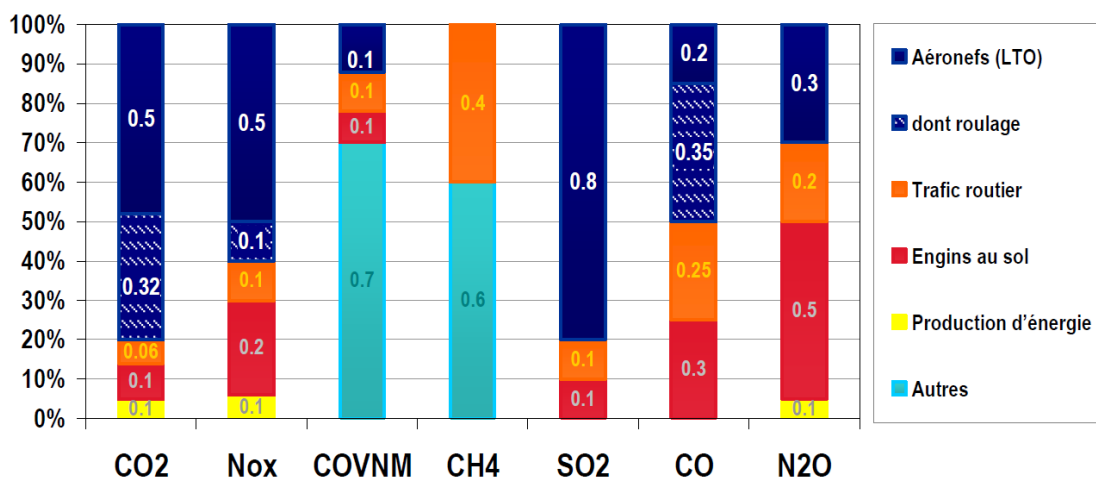
En 2011, l'ACNUSA a fait réaliser une étude sur l'optimisation environnementale du roulage au sol des aéronefs sur les aéroports français¹¹¹. Grâce aux inventaires d'émissions fournis par plusieurs plates-formes aéroportuaires, il a été possible d'identifier la contribution de chaque type de source (hors trafic routier conduisant à la plate-forme et hors APU), comme illustré par le graphique ci-dessous.

¹⁰⁹ DGAC, « *Bulletin statistique du trafic aérien commercial* », 2018.

¹¹⁰ GIEC, *Rapport du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, 2014.

¹¹¹ BIPE, *Etude sur l'optimisation environnementale du roulage au sol des aéronefs, sur les plateformes aéroportuaires françaises*, 2011.

Figure 7 — Contribution moyenne des différentes sources pour les principaux polluants sur une plate-forme aéroportuaire.



Source : BIPE, *Etude sur l'optimisation environnementale du roulage au sol des aéronefs, sur les plateformes aéroportuaires françaises*, 2011, p.12.

Ce graphique permet de mettre en évidence que les aéronefs constituent la première source d'émissions locales pour les polluants atmosphériques (gaz à effet de serre et polluants de l'air local), hors APU et trafic routier induit par la plate-forme. Il faut donc relativiser le rôle que jouent les sources d'émission purement liées aux activités aéroportuaires.

En plus des émissions des moteurs d'avion, il faut ajouter l'ensemble du trafic routier lié, d'une part, à l'activité des véhicules utilisés sur les plates-formes aéroportuaires, et d'autre part à l'accessibilité des usagers à la plate-forme¹¹². Par exemple, l'ACNUSA a mis en évidence que les engins de piste sont la deuxième source d'émissions d'oxydes d'azote et de particules fines en suspension (PM₁₀) sur les zones aéroportuaires de Toulouse-Blagnac ou d'Île-de-France¹¹³. Or, des marges de progrès existent sur ces engins, comme cela sera détaillé par la suite.

En ce qui concerne les véhicules des particuliers (voyageurs ou employés) qui accèdent à la plate-forme, les émissions sont contrôlées au niveau européen mais très peu d'exploitants d'aéroports les incluent dans leur bilan d'émission. En effet, celui-ci serait alors fortement alourdi et les exploitants se verraient obligés — à supposer qu'ils puissent le faire, quand bien même ils ne maîtrisent

¹¹² *Ibid.*

¹¹³ Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires, *Rapport annuel*, 2019.

pas directement les accès routiers hors-emprise aéroportuaire — de prendre des mesures vis-à-vis du trafic routier généré par la plate-forme, engendrant des pertes financières substantielles¹¹⁴. Pour autant, l'accessibilité des aéroports — notamment par transports en commun — est un levier primordial pour les exploitants d'aéroports.

D'autres aéroports — Copenhague, Zurich, Stockholm-Årlanda et Londres-Heathrow¹¹⁵ — en Europe ont effectué des études sur les particules ultrafines émises sur les plates-formes pour mieux connaître le danger pour la santé de leurs employés travaillant sur le tarmac. Il en ressort que la concentration varie beaucoup d'un aéroport à l'autre ou même d'un poste de parking à l'autre. Les études ne sont pas toujours comparables, car les lieux, les appareils et la durée des mesures sont très variés. Néanmoins, pendant les heures de pointe du trafic aérien (matin et début de soirée) des pics de concentration en particules ultrafines sont, en général, observés.

Sur d'autres aéroports, comme Schiphol, Bruxelles, Los Angeles et Santa Monica, des études ont été réalisées pour évaluer la zone impactée par les particules ultrafines émises par l'aéroport dans son voisinage. La corrélation entre les heures de pointe et les concentrations élevées a été également soulignée dans ces études, ces particules pouvant même être relevées jusqu'à 40 km de la plate-forme lorsque le vent provient des aéroports.

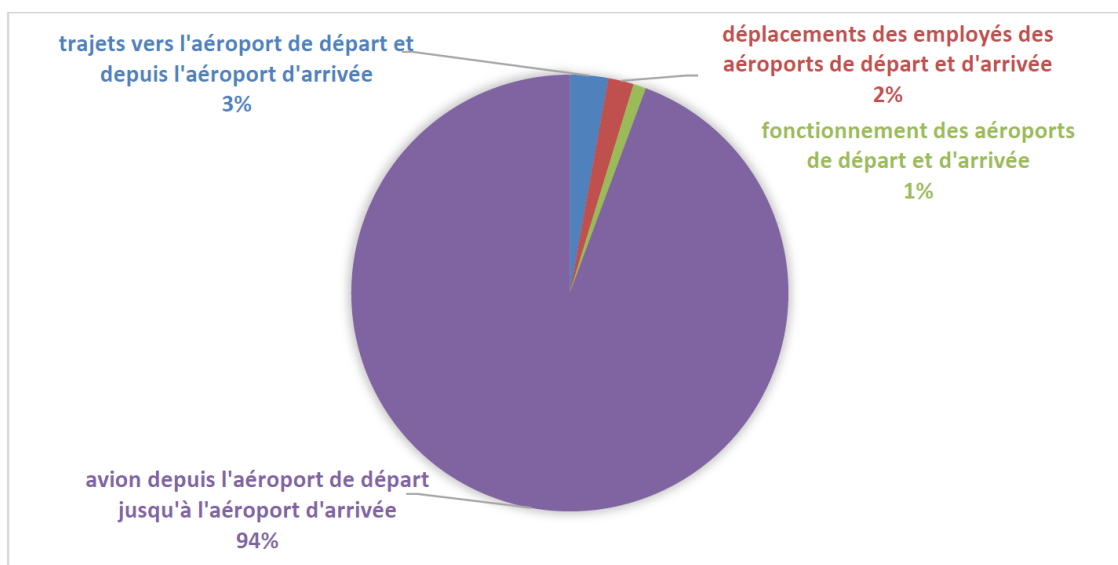
En conclusion et pour reprendre les recommandations de l'ADEME (l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie)¹¹⁶, les aéroports devraient inclure dans le périmètre de leurs bilans d'émission de GES et de polluants atmosphériques les émissions indirectes liées à l'intégralité des vols et des phases de vol, aussi bien au départ qu'à l'arrivée, de même que celles liées au trafic terrestre vers et depuis l'aéroport. À ce propos, l'ADEME a réalisé une modélisation des émissions approximatives de GES attribuées à un voyageur qui effectue un vol sans correspondance, permettant de mettre en évidence les parts relatives des différents postes d'émission, illustrée ci-dessous.

¹¹⁴ BIPE, *Etude sur l'optimisation environnementale du roulage au sol des aéronefs, sur les plateformes aéroportuaires françaises*, 2011, p.10.

¹¹⁵ ACNUSA, *Particules ultrafines et aviation*, 2017.

¹¹⁶ ADEME, *Bilan national du programme d'actions des aéroports établi par l'ADEME en application du décret n°2016-565 et de l'article 45 de la loi n°2015-992*, 2018, p.78.

Figure 8 – Répartition approximative moyenne des émissions de GES pour un passager effectuant un vol sans correspondance.



Source : ADEME.

Ce graphique met en évidence la part prépondérante des émissions de GES générées par les aéronefs (toutes les phases de vol étant incluses, dont le roulage ainsi que l'utilisation de l'APU au sol) et, inversement, la part très faible des émissions liées au fonctionnement de l'aéroport, corroborant les conclusions de l'étude précitée¹¹⁷ commandée par l'ACNUSA.

Selon l'ADEME¹¹⁸, élargir le périmètre des bilans d'émission « permettra, pour chaque aéroport, d'avoir pour indicateur l'ensemble des émissions auxquelles il contribue, par son existence et son activité ».

L'AESA estime que d'ici 2040, les émissions de CO₂ et de NO_x devraient augmenter d'au moins 21% et 16% respectivement. Des efforts sont donc à faire pour réduire les émissions de polluants atmosphériques générées par le transport aérien. La lutte contre les gaz à effet de serre et contre les polluants de l'air local doit être menée conjointement car ce sont souvent les mêmes sources qui les émettent. Cette complémentarité des actions à conduire devrait toujours être gardée à l'esprit, afin de se prémunir des effets pervers que pourraient

¹¹⁷ BIPE, *Etude sur l'optimisation environnementale du roulage au sol des aéronefs, sur les plateformes aéroportuaires françaises*, 2011.

¹¹⁸ ADEME, *Bilan national du programme d'actions des aéroports établi par l'ADEME en application du décret n°2016-565 et de l'article 45 de la loi n°2015-992*, 2018, p.80.

avoir les mesures de réduction de gaz à effet de serre sur la qualité de l'air. Ainsi, c'est par une approche intégrée des phénomènes de pollution que les parties prenantes du transport aérien doivent réfléchir aux solutions à apporter pour contrer les effets de la dégradation de la qualité de l'air et du réchauffement climatique.

Il convient de souligner que des efforts de réduction des émissions ont déjà été entrepris par les acteurs du secteur, que ce soit de façon imposée par un cadre réglementaire ou de façon volontaire. Cependant, le transport aérien demeure un contributeur important de la pollution atmosphérique, notamment à l'origine de 2% des émissions globales de dioxyde de carbone. Des solutions sont en réflexion et en déploiement, comme la récente adoption du CORSIA à l'échelle mondiale, mais peinent à convaincre ou à avoir un réel effet de réduction des émissions de polluants atmosphériques.

Partie II – Les efforts de réduction du transport aérien : insuffisants ou mal connus ?

Les différentes émissions atmosphériques générées par le transport aérien trouvent leur origine dans les mêmes sources (essentiellement les moteurs des aéronefs). Leurs impacts, tant sur la qualité de l'air que sur le réchauffement climatique, sont très importants. Même si les connaissances scientifiques en la matière doivent être approfondies, les émissions de polluants atmosphériques sont de mieux en mieux identifiées et il existe désormais un cadre réglementaire foisonnant en la matière. Les réglementations peinent à être intelligibles pour les acteurs du transport aérien, d'autant plus qu'il existe un important dispositif de surveillance des émissions atmosphériques, comme il sera expliqué dans un premier chapitre.

Parallèlement à l'amélioration des connaissances scientifiques sur la réelle contribution du transport aérien aux phénomènes de pollution atmosphérique, ces deux dernières années auront été caractérisées par une réelle prise de conscience de l'opinion publique. Cela est encore plus vrai depuis ces derniers mois, qui ont vu naître le *flygskam* (qui signifie littéralement « la honte de prendre l'avion »), ce mouvement suédois anti-avion qui a gagné l'Europe entière. Désormais montré du doigt, le transport aérien ne doit pas minimiser son impact et omettre d'assumer ses responsabilités environnementales. Il se doit de réagir au plus vite pour réduire efficacement ses émissions et de communiquer vers le grand public pour démontrer ses efforts, sous peine de se voir freiné par les réglementations, taxes ou mouvements de boycott. L'ampleur des phénomènes de pollution atmosphérique étant connue depuis quelques années et des mesures de réduction des émissions ayant d'ores et déjà vu le jour, comment expliquer que ce sujet n'ait pris une place que très récemment dans les médias européens ? Pour répondre à cette question, le deuxième chapitre tâchera de comprendre si les mesures de réduction prises par les parties prenantes du secteur, qu'elles soient imposées par les règlements ou bien volontaires, sont insuffisantes, mal communiquées ou bien les deux à la fois.

Chapitre 1 : Un cadre réglementaire foisonnant et hétérogène

Tous les secteurs d'activité (industrie, transports, résidentiel, agriculture) contribuent à la pollution atmosphérique et l'implication de tous les acteurs dans les efforts de réduction des émissions est primordial. Dans cet objectif, on assiste à une multiplication des instruments juridiques, des outils et des organismes de surveillance relatifs aux enjeux climatiques et à la qualité de l'air.

Au niveau international, la France est partie à de nombreuses conventions destinées à prévenir et réduire les émissions. Ces textes se traduisent, aux niveaux européen et national, par l'instauration de plafonds annuels nationaux d'émissions et de seuils de qualité de l'air¹¹⁹, qui feront l'objet d'une première section.

En outre, un important dispositif de surveillance de la qualité de l'air et de réduction des émissions de gaz à effet de serre a été créé, renforcé par une abondance d'organismes et d'outils de planification destinés à mettre en œuvre les politiques internationales, européennes et nationales en matière de pollution atmosphérique, comme il sera développé dans une deuxième section.

Section 1 – Des instruments normatifs de réduction des émissions reposant sur des seuils d'émissions

Qualité de l'air et effet de serre sont traités séparément par les diverses réglementations. Dans la plupart des cas, celles-ci prennent la forme de seuils de réduction, qui se posent comme des valeurs limites d'émission à ne pas franchir. Au sein de l'Union européenne, ce système a fait ses preuves, puisque les émissions ont diminué au cours des dernières décennies. Toutefois, la qualité de l'air ne s'est pas améliorée au même rythme, comme le souligne un rapport¹²⁰ de la Cour des comptes européenne de 2018.

En outre, les instruments réglementaires spécifiques au domaine de l'aviation sont peu nombreux, même si leur nombre tend à croître¹²¹. Les acteurs du

¹¹⁹ Commissariat général au développement durable, *Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2017*, octobre 2018, p.29.

¹²⁰ Rapport de la Cour des comptes européenne, *Pollution de l'air : notre santé n'est toujours pas suffisamment protégée*, 2018, p.6.

¹²¹ STAC, *Guide de calcul des émissions dues aux aéronefs*, 2015.

transport aérien doivent donc composer entre des textes généraux imposant des seuils d'émission et des textes spécifiques au secteur de l'aviation qui constituent un enchevêtrement de normes internationales, européennes et nationales peu intelligibles et parfois difficiles à mettre en pratique.

A) Le cadre international

1) Les traités internationaux

En matière de qualité de l'air, la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (dite Convention de Genève) du 17 novembre 1979 a été l'un des premiers outils de connaissance partagée et d'action concertée pour la protection de l'air et de l'environnement. La convention initiale, entrée en vigueur le 28 janvier 1988, a d'abord ciblé le dioxyde de soufre, notamment responsable du phénomène des pluies acides, mises en lumière par la communauté scientifique dans les années 1960.

On trouve également la Convention de Stockholm du 22 mai 2001 sur les polluants organiques persistants.

En matière de réchauffement climatique, la communauté internationale a pris conscience de l'enjeu du changement climatique avec la Convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC). La CCNUCC a été adoptée au siège des Nations Unies, à New York, le 9 mai 1992 et ouverte à la signature au cours du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro du 4 au 14 juin 1992. La Convention, entrée en vigueur le 21 mars 1994, regroupe actuellement 197 Parties (196 États et une organisation régionale d'intégration économique).

Elle a pour objectif de « *stabiliser (...) les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique* »¹²². Pour ce faire, la Convention reconnaît trois grands principes : le principe de précaution, le principe du droit au développement et le principe des responsabilités communes mais différenciées. Ce dernier principe permet aux pays en voie de développement d'être exonérés de toute obligation, les pays dits « de l'annexe I » (les pays développés) étant les seuls tenus de respecter leurs engagements.

¹²² Convention-cadre sur les changements climatiques, 1992.

La portée de cette Convention s'est trouvée renforcée lors de la troisième Conférence des Parties¹²³, qui a abouti à la signature le 11 décembre 1997 du Protocole de Kyoto. Il s'agit du premier accord international juridiquement contraignant sur la question du changement climatique¹²⁴. Il est effectivement entré en vigueur en février 2005. Son objectif était de réduire d'au moins 5% les émissions de GES sur le plan mondial à l'horizon 2012 par rapport à leur niveau de 1990, année de référence lors de laquelle a été rendu le premier rapport du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). Il est à noter que l'UE et ses États membres ont pris un engagement encore plus contraignant : une réduction de 8% pour l'ensemble du bloc¹²⁵. Pour sa part, la France devait stabiliser ses émissions et ne pas émettre plus de 557 millions de tonnes équivalents CO₂ par an entre 2008 et 2012. Les objectifs fixés pour la France sur la période 2008-2012 ont bien été atteints¹²⁶.

Le protocole reprend le principe des responsabilités communes mais différenciées : seuls les pays dits « de l'annexe I » (les pays développés) sont tenus de réduire leurs émissions. Aux termes du Protocole de Kyoto, les États n'inventorient que les émissions de leurs vols intérieurs. Les émissions des vols internationaux sont exclues des engagements chiffrés des États¹²⁷ et sont laissées à la charge de l'OACI.

Si les objectifs du Protocole ont été respectés, le bilan est à relativiser : en effet, de nombreux États, parmi les plus gros contributeurs en termes d'émissions de GES, en sont exclus (les États-Unis l'ont signé mais ne l'ont jamais ratifié, le Canada s'est retiré en 2012 et la Chine et autres pays émergents en sont exemptés). Ainsi, le protocole ne couvre que 18 % environ des émissions mondiales¹²⁸.

Lors de la conférence internationale sur le climat de Doha (Qatar) en 2012, un nouvel objectif global de réduction des émissions de GES est fixé pour la

¹²³ La conférence des parties est l'assemblée des pays signataires de la Convention, dite COP (« *Conference of parties* » en anglais).

¹²⁴ C. Chkioua, Thèse professionnelle, *Aviation et Climat : "Analyse des moyens d'action publique pour limiter l'impact de l'aviation sur le changement climatique"*, 2009, p.91.

¹²⁵ Commission européenne : https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress/kyoto_1_fr

¹²⁶ Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique : <https://www.citepa.org/fr/>

¹²⁷ C. Chkioua, Thèse professionnelle, *Aviation et Climat : "Analyse des moyens d'action publique pour limiter l'impact de l'aviation sur le changement climatique"*, 2009, p.39.

¹²⁸ Commission européenne : https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress/kyoto_1_fr

période 2013-2020 (dit « KYOTO 2 »), d'au moins 18% par rapport au niveau de 1990.

Durant la COP21 en 2015, l'Accord de Paris est adopté par ses 196 parties, prenant la suite du protocole de Kyoto. C'est le premier instrument juridique international qui lie pays industrialisés et pays en développement dans un nouveau régime commun et unifié visant la réduction des émissions de GES¹²⁹. L'accord de Paris fixe l'objectif de limiter la hausse des températures moyennes mondiales « *nettement en-dessous de* » 2°C (d'ici 2100) par rapport aux niveaux préindustriels et de viser si possible 1,5°C. Il est à noter qu'en juin 2017, les États-Unis se sont désengagés de l'accord de Paris, même s'ils ne pourront se retirer formellement qu'après le 4 novembre 2020.

2) Les institutions internationales

➤ L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI)

L'OACI a été créée le 7 décembre 1944, par la signature de la Convention relative à l'aviation civile internationale à Chicago, entrée en vigueur en avril 1947. L'article 2.2 du Protocole de Kyoto confie à l'OACI le rôle d'organiser la limitation des émissions de GES du secteur de l'aviation internationale, ce qui a abouti à l'élaboration de l'Annexe 16 de la Convention, déclinée en quatre volumes relatifs à l'environnement.

L'OACI définit également des protocoles de mesure et des seuils minimaux pour l'obtention de la certification des moteurs, définis à l'Annexe 16 (Volume II – Émissions des moteurs d'aviation). Il faut néanmoins remarquer que les exigences actuelles des compagnies aériennes, en matière d'efficacité des moteurs et d'économie de carburant, conduisent les motoristes à proposer des moteurs bien plus « propres » que cela ne leur est imposé réglementairement¹³⁰.

L'OACI s'appuie sur les travaux du Comité de la protection de l'environnement en aviation (CAEP), établi par le Conseil en 1983. Le CAEP aide le Conseil dans la formulation de nouvelles politiques et l'adoption de nouvelles normes sur le bruit des aéronefs et les émissions des moteurs d'aéronefs¹³¹.

¹²⁹ Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique : <https://www.citepa.org/fr/>

¹³⁰ STAC, Rapport d'étude, *Intégration de données environnementales dans les études de capacité aéroportuaire*, 2012, p.20.

¹³¹ OACI : https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/FR/CAEP_FR.aspx

Lors de la 38e Assemblée de l'Organisation en 2013, les États-membres ont fixé un objectif commun à l'ensemble des acteurs concernés : limiter les émissions de CO₂ de l'aviation à leur niveau de 2020, en dépit de l'augmentation prévue du trafic aérien mondial. C'est l'objectif de Croissance Neutre en Carbone à partir de 2020, ou CNG 2020. Pour y parvenir, l'OACI a développé le concept de panier de mesures qui propose d'agir sur quatre leviers :

- des procédures opérationnelles de navigation aérienne conduisant à réduire la consommation de carburant,
- l'amélioration de la performance environnementale des aéronefs dès leur conception,
- le développement des carburants alternatifs durables pour les aéronefs,
- la mise en place de mesures économiques fondées sur le marché (dites « GMBM » pour « *Global Market-Based Measures* »).

En 2016, la 39e session de l'Assemblée a décidé dans sa résolution A39-3 (« Régime mondial de mesures basées sur le marché » ou MBM) de développer le Régime de compensation et de réduction de carbone pour l'aviation internationale (dénommé CORSIA, pour « *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* »), qui sera développé plus avant.

➤ L'Organisation mondiale de la Santé (OMS)

L'OMS est l'institution spécialisée de l'Organisation des Nations unies (ONU) pour la santé publique créée en 1948. Dans le domaine de la qualité de l'air, elle fixe notamment des valeurs limites destinées à limiter la teneur des polluants de l'air local toxiques présents dans l'atmosphère. Ces valeurs, définies dans des lignes directrices, sont à l'origine des législations sur la qualité de l'air dans le monde entier. Elles sont données dans la table ci-dessous.

Figure 9 – Valeurs guide de l’OMS

Polluants	Valeurs guide de l’OMS
Particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM₁₀)	50 µg/m ³ en moyenne journalière 20 µg/m ³ en moyenne annuelle
Particules de diamètre inférieur à 2,5 µm (PM_{2.5})	25 µg/m ³ en moyenne journalière 10 µg/m ³ en moyenne annuelle
Ozone (O₃)	100 µg/m ³ en moyenne sur 8 heures
Dioxyde d’azote (NO₂)	40 µg/m ³ en moyenne annuelle 200 µg/m ³ en moyenne horaire
Dioxyde de soufre (SO₂)	20 µg/m ³ en moyenne journalière 500 µg/m ³ en moyenne sur 10 minutes

Sources : Lignes directrices de l’Organisation Mondiale de la Santé (OMS), mise à jour mondiale en 2005, relatives à la qualité de l’air.

B) Le cadre européen

Au niveau européen, les principales directives ont été définies pour répondre aux problématiques de prévention, de réduction des émissions atmosphériques et de surveillance de la qualité de l’air et sont transposées dans la réglementation française¹³². L’Union européenne lutte contre la pollution atmosphérique en fixant des valeurs limites de concentration en polluants dans l’air que nous respirons et en édictant des normes applicables aux sources d’émission de polluants¹³³.

¹³² Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroporutaires : <https://www.acnusa.fr/>

¹³³ Rapport de la Cour des comptes européenne, *Pollution de l’air : notre santé n’est toujours pas suffisamment protégée*, 2018, p.14.

Trois directives fixent des normes de qualité de l'air : la directive 2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe¹³⁴, la directive 2004/107/CE du 14 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant et enfin la directive (EU) 2016/2284 du 14 décembre 2016 concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques¹³⁵. Ces trois textes assurent un cadre commun pour l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air, ainsi que pour l'information du public¹³⁶. Elles fixent également des concentrations maximales dans l'air pour certaines substances polluantes dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire leurs effets nocifs sur la santé humaine.

La directive sur la qualité de l'air ambiant¹³⁷, adoptée en 2008, est la pierre angulaire de la politique de l'UE en matière de qualité de l'air¹³⁸. Elle fixe des normes de qualité de l'air, y compris des valeurs limites, relatives aux concentrations des polluants atmosphériques les plus nocifs pour la santé¹³⁹, notamment les particules en suspension et le dioxyde d'azote (NO₂). Elle impose également des obligations d'information du public aux États membres, et définit les seuils d'alerte ainsi que les seuils d'information correspondants.

La Commission européenne est chargée d'évaluer la conformité à la directive. Concrètement, la directive oblige les États membres à délimiter des zones de contrôle de la qualité de l'air sur leur territoire et à mettre en place des réseaux de stations de mesure fixes dans les zones polluées. La Commission examine ensuite les données relevées et dans le cas où elles excèdent les valeurs limites prévues par la directive, les États membres doivent établir des plans correctifs dans les plus brefs délais. Si la Commission estime que les États membres ne se conforment pas à la directive, elle peut engager des poursuites contre eux¹⁴⁰.

¹³⁴ Cette directive reprend et abroge les directives 96/62/CE (évaluation et gestion de la qualité de l'air), 97/101/CE (échanges de données), 1999/30/CE, 2000/69/CE et 2002/3/CE (ozone).

¹³⁵ Ces polluants sont le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les composés organiques volatils autres que le méthane et l'ammoniac.

¹³⁶ Ministère de la transition écologique et solidaire : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/pollution-lair-origines-situation-et-impacts>

¹³⁷ Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.

¹³⁸ Rapport de la Cour des comptes européenne, *Pollution de l'air : notre santé n'est toujours pas suffisamment protégée*, 2018, p.6.

¹³⁹ *Ibid.*, p.15.

¹⁴⁰ *Ibid.*

L'Agence européenne pour l'environnement (AEE) souligne qu'au cours des dernières décennies les directives et règlements européens ont contribué à faire diminuer les émissions de polluants atmosphériques. Entre 1990 et 2015, les émissions de SO_x dans l'UE ont ainsi baissé de 89 % et les émissions de NO_x, de 56 %. Depuis 2000, les émissions de PM 2,5 ont reculé de 26 %¹⁴¹.

Malgré ce bilan, la plupart des États membres n'ont pas efficacement mis en œuvre la directive sur la qualité de l'air ambiant. En 2016, 13 États membres ont dépassé les valeurs limites pour les PM, 19 l'ont fait pour le NO₂ et un l'a fait pour le SO₂¹⁴². La France est d'ailleurs actuellement visée par 2 procédures précontentieuses¹⁴³ relatives au non-respect de la directive 2008/50/CE.

Pour assurer la pleine conformité à la législation en vigueur à l'horizon 2020, la Commission européenne a publié, en décembre 2013, le programme « Air pur pour l'Europe ». Il fixe également une feuille de route pour permettre à l'UE d'atteindre au plus tard en 2030 l'objectif à long terme consistant à réduire la mortalité prématurée due aux PM et à l'O₃ de 52 % par rapport à 2005¹⁴⁴.

En ce qui concerne la lutte contre le réchauffement climatique, la directive européenne 2003/87/CE du 13 octobre 2003 établit le système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre (SEQE-UE ou EU-ETS pour *European Union Emission Trading Scheme*), en vigueur depuis 2005 et qui sera détaillé plus avant.

Par ailleurs, l'UE a adopté le paquet Climat-Énergie, visant entre autres, à réduire les émissions de GES des États membres de 20% entre 1990 et 2020. Des textes législatifs européens¹⁴⁵ ont été adoptés afin de construire le cadre réglementaire visant à permettre l'atteinte de ces objectifs.

¹⁴¹ AEE, *Emissions of the main air pollutants in Europe*, 2017.

¹⁴² Rapport de la Cour des comptes européenne, *Pollution de l'air : notre santé n'est toujours pas suffisamment protégée*, 2018, p.25.

¹⁴³ Ministère de la transition écologique et solidaire : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/pollution-lair-origines-situation-et-impacts>

¹⁴⁴ Rapport de la Cour des comptes européenne, *Pollution de l'air : notre santé n'est toujours pas suffisamment protégée*, 2018, p.18.

¹⁴⁵ Notamment la directive 2009/29/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009 modifiant la directive 2003/87/CE.

C) Le cadre national

1) Le rôle de la DGAC

La Direction Générale de l'Aviation Civile, rattachée au ministère de la Transition écologique et solidaire, est un acteur essentiel de la maîtrise de l'impact du secteur aéronautique sur l'environnement, notamment sur la qualité de l'air et les changements climatiques. La limitation des nuisances locales, sonores et atmosphériques, fait partie de ses priorités.

La DGAC œuvre au travers de ses différentes directions. La Direction du Transport Aérien (DTA), qui constitue le pôle régalien de la DGAC, participe par exemple aux travaux menés au sein de l'UE et de l'OACI, élabore les textes à caractère législatif et réglementaire relatifs à la lutte contre la pollution des aéroports et des aéronefs, met en œuvre le soutien public à la recherche aéronautique et assure le recueil et la diffusion des données statistiques concernant le transport aérien¹⁴⁶.

La Direction des Services de la Navigation Aérienne (DSNA) est le prestataire français chargé de fournir les services de circulation aérienne dans l'espace aérien national. Elle participe activement au programme Ciel unique européen, dont l'objectif majeur est d'augmenter la sécurité et la capacité de l'espace aérien et des aéroports tout en minimisant l'impact environnemental de la circulation aérienne.

Le Service Technique de l'Aviation Civile (STAC) est le service technique du pôle régalien de la DGAC. Il est notamment chargé d'élaborer des guides méthodologiques et de diffuser les connaissances techniques en matière environnementale.

2) Le dispositif légal

La loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996, dite Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie (LAURE), désormais codifiée au Code de l'Environnement (Article L. 221-1 à L. 221-6), établit « *le droit reconnu à chacun à respirer un air qui ne nuise pas à sa santé* ». En plus de définir de manière large la pollution atmosphérique, elle prévoit la fixation d'objectifs de qualité et la mise en place de dispositifs de surveillance de la qualité de l'air. Elle contient également des garanties concernant l'information du public et des mesures

¹⁴⁶ C. Chkioua, Thèse professionnelle, *Aviation et Climat : "Analyse des moyens d'action publique pour limiter l'impact de l'aviation sur le changement climatique"*, 2009, p.93.

fiscales et financières favorisant notamment les systèmes et les énergies peu polluantes¹⁴⁷.

Elle assure aussi la transcription des différentes réglementations européennes, notamment la directive 96/62/CE¹⁴⁸, remplacée par la directive 2008/50/CE. Un tableau des normes et valeurs limites relatives à la qualité de l'air est annexé à ce mémoire (cf. Annexe 3).

On trouve également la loi n°2009-967 du 3 août 2009, dite loi Grenelle de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement, et la loi Grenelle II n°2010-788 portant engagement national pour l'environnement du 12 juillet 2010.

Concernant plus particulièrement les aérodromes et leurs émissions polluantes, le code de l'environnement impose une étude d'impact pour certaines constructions ou extensions d'infrastructures aéroportuaires¹⁴⁹. Cette étude doit notamment contenir les principaux enjeux environnementaux, les principaux impacts du projet et la présentation des mesures envisagées pour éviter, réduire et, si possible, compenser les conséquences dommageables du projet pour l'environnement et la santé (dites « mesures ERC »).

La loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) concerne spécifiquement, dans son article 45, les exploitants des aérodromes définis aux deux premiers alinéas du I de l'article 1609 quater viciés A du code général des impôts¹⁵⁰. Il leur a été demandé d'établir avant la fin 2016 un programme d'action pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) et de polluants atmosphériques liés aux activités directes au sol de la plate-forme aéroportuaire (notamment s'agissant du roulage des avions et de la circulation de véhicules sur la plate-forme)¹⁵¹.

¹⁴⁷ STAC, *Évaluation de la qualité de l'air autour d'un aéroport*, 2015, p.13.

¹⁴⁸ Directive 96/62/CE du conseil du 27 septembre 1996 concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant.

¹⁴⁹ STAC, *Évaluation de la qualité de l'air autour d'un aéroport*, 2015, p.13.

¹⁵⁰ On compte actuellement onze aérodromes concernés. Ces onze aéroports sont ceux sur lesquels est perçue la taxe sur les nuisances sonores aériennes et où l'Autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires exerce des compétences spécifiques : Bâle-Mulhouse, Beauvais-Tillé, Bordeaux-Mérignac, Lyon-Saint-Exupéry, Marseille-Provence, Nantes-Atlantique, Nice-Côte d'Azur, Paris-Charles-de-Gaulle, Paris-Le Bourget, Paris-Orly, Toulouse-Blagnac.

¹⁵¹ Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires, *Rapport annuel 2019*, p.36.

Le décret n°2016-565 du 10 mai 2016 a précisé les modalités d'application de cet article. Les objectifs de réduction des intensités d'émissions¹⁵² en gaz à effet de serre et en polluants de l'air local ont été fixés à 10 % et 20 % respectivement pour les années 2020 et 2025, par rapport à l'année 2010 prise comme année de référence.

L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) a été chargée d'établir un premier bilan national sur la mise en place de ces plans. Son rapport¹⁵³, rendu en mai 2018, fait apparaître que les onze aéroports analysés devraient pouvoir respecter globalement les objectifs fixés en termes de réduction des intensités d'émissions. Cependant, l'ADEME attire l'attention sur le fait qu'une diminution des intensités d'émissions ne signifie pas une diminution du volume des émissions en valeur absolue. Par exemple, les émissions de GES, de NO_x et de particules en suspension sont même estimées en hausse à partir de 2020¹⁵⁴. Cet écart entre la tendance prévue, pour les intensités d'émission d'une part, et pour les émissions absolues d'autre part, s'explique par la hausse sensible du trafic : le trafic (passagers + fret + poste) prévu en 2025 pour l'ensemble constitué par les 10 aérodromes (sans Nantes-Atlantique) est supérieur d'environ 50% à celui de 2010, et le nombre de mouvements d'avions prévu en 2025 est supérieur de plus de 10% à celui de 2010. Ainsi, les objectifs de l'article 45 de la loi LTECV et de son décret d'application semblent peu ambitieux face aux enjeux relatifs au changement climatique et à la qualité de l'air qui, comme le relève l'ADEME, « *imposent des réductions des émissions absolues et non simplement des intensités d'émission* »¹⁵⁵.

En outre, l'article 45 de la LTECV ne prévoit aucun dispositif permettant de contrôler la réalisation effective des objectifs fixés pour 2020 et 2025. Ainsi, dans le cas où les résultats ne seraient pas atteints par les aéroports, aucune mesure correctrice ne pourra leur être imposée, ce qui diminue amplement la portée de l'obligation légale de réduction des intensités d'émissions.

Le cadre réglementaire qui s'impose aux parties prenantes du secteur aérien est donc très riche et peine à agir efficacement en prévention et en réduction des émissions de polluants atmosphériques. En outre, les mesures ne sont pas

¹⁵² Une intensité d'émissions est le rapport entre le volume des émissions de polluants et le nombre d'unités de trafic (passagers + fret + poste) sur la plate-forme concernée la même année.

¹⁵³ ADEME, *Bilan national du programme d'actions des aérodromes établi par l'ADEME en application du décret n°2016-565 et de l'article 45 de la loi n°2015-992*, 2018.

¹⁵⁴ *Ibid.*, p.8.

¹⁵⁵ *Ibid.*, p.10.

forcément coordonnées entre elles et cela se traduit par exemple par une pluralité d'organismes, créés dans le but de surveiller la bonne mise en pratique des normes à différentes échelles.

Section 2 – Surveillance et restriction environnementale autour d'un aéroport

Les aéroports, par leur localisation au plus près des citoyens, sont des acteurs directement impliqués dans la surveillance des émissions de polluants atmosphériques. Ainsi, ils doivent se conformer aux normes en vigueur concernant la qualité de l'air et aux mesures et plans de gestion de la pollution atmosphérique pris pour le territoire sur lequel ils se situent. Selon les polluants concernés, les échelles de pollution et les objectifs de réduction, différents organismes existent.

A) La pluralité des organismes de surveillance et de mesure

La surveillance de la qualité de l'air permet notamment d'effectuer des comparaisons par rapport à des seuils réglementaires, d'identifier les sources de pollution et leurs impacts sur les populations exposées, de sensibiliser le public et encore de créer des alertes en cas de dépassement de seuil de pollution¹⁵⁶.

1) Le LCSQA et le réseau des AASQA

Les directives européennes et la législation française en matière d'environnement imposent une surveillance de la qualité de l'air ambiant des grandes agglomérations ainsi que des zones susceptibles de connaître des dépassements de seuils limites fixés¹⁵⁷. Par la loi LAURE, l'État — plus précisément, le ministère de la Transition écologique et solidaire — confie la mise en œuvre de cette surveillance au Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA)¹⁵⁸ à l'échelle nationale et au réseau des Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA)¹⁵⁹ à l'échelle locale¹⁶⁰.

¹⁵⁶ ACNUSA, *Guide méthodologique à destination des aéroports pour évaluer leur impact sur la qualité de l'air locale*, 2016, p.15.

¹⁵⁷ STAC, *Évaluation de la qualité de l'air autour d'un aéroport*, 2015, p.35.

¹⁵⁸ Le LCSQA est formé par l'institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), par le Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) et par l'École des Mines de Douai. Le LCSQA assure la coordination technique du dispositif de surveillance (article L.221-1

On dénombre dix-huit AASQA (une par région administrative de métropole et d'outre-mer) et une Association de Surveillance de la Qualité de l'Air (ASQA) située en Nouvelle-Calédonie, toutes fédérées au sein d'ATMO France. Elles sont chargées de la mise en œuvre de la surveillance à l'échelle régionale et de l'information du public en temps réel sur la qualité de l'air ambiant en région, notamment en cas d'épisodes de pollution atmosphérique.

Les AASQA disposent de plus de 600 stations fixes de mesure implantées sur le territoire français et de plusieurs outils de modélisation qui permettent de cartographier et de prévoir, à court et moyen termes, l'évolution de la qualité de l'air en France¹⁶¹ (exemple : Prev'Air¹⁶²).

2) La DREAL

En France, les directions régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) sont des services déconcentrés de l'État, sous tutelle commune du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de la Cohésion des territoires. Leurs compétences et leur organisation sont définies par le décret n°2009-235 du 27 février 2009 modifié.

La DREAL met en œuvre les politiques publiques liées à l'aménagement durable des territoires, à l'énergie, à l'environnement et à la prévention des risques. Elle élabore notamment les Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA).

3) L'ADEME

L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) français créé en 1991. L'ADEME coordonne ou réalise des opérations de protection de l'environnement et la maîtrise de l'énergie. Elle collecte notamment les bilans

du code de l'environnement). Il apporte un appui stratégique, scientifique et technique aux Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA).

¹⁵⁹ Les AASQA sont des associations multipartites dont les conseils d'administration comportent des représentants de divers acteurs ou institutions concernés par la gestion de la qualité de l'air (État, collectivités locales, industriels, associations de protection de l'environnement, personnalités qualifiées, etc.).

¹⁶⁰ PREV'AIR : <http://www2.prevoir.org/>

¹⁶¹ ACNUSA, *Guide méthodologique à destination des aéroports pour évaluer leur impact sur la qualité de l'air locale*, 2016, p.15.

¹⁶² Prev'air, plate-forme nationale de prévision de la qualité de l'air, est l'une des composantes du dispositif français de surveillance et de gestion de la qualité de l'air, en complément des informations fournies par les réseaux de mesure et d'observation « physiques » gérés les AASQA.

des émissions de gaz à effet de serre réalisés par les établissements publics, collectivités territoriales ou personnes morales de droit privé pour lesquels s'applique l'article 75 de la loi Grenelle II¹⁶³.

4) Le CITEPA

Le CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique) est l'organisme de référence en charge de la réalisation des inventaires nationaux d'émissions atmosphériques (gaz à effet de serre et polluants de l'air local) qui sont rapportés dans les conventions internationales (UNFCCC notamment)¹⁶⁴. Le CITEPA rassemble 85 adhérents (industriels, fédérations et syndicats professionnels, producteurs et distributeurs d'énergie, bureaux d'études, organismes de recherche, laboratoires de mesures et AASQA.

La réalisation de l'inventaire national annuel des émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en France constitue l'activité de référence du CITEPA depuis plus de 20 ans¹⁶⁵.

5) L'ACNUSA

Créée par la loi n° 99-588 du 12 juillet 1999 modifiée par la loi du 12 juillet 2010, l'Autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires (ACNUSA) est chargée de contrôler l'ensemble des dispositifs de lutte contre les nuisances générées par le transport aérien et le secteur aéroportuaire¹⁶⁶. Elle a des pouvoirs spéciaux sur les plus grandes plates-formes et assure le contrôle des nuisances sur tous les aéroports où des arrêtés ministériels portent restriction d'usage d'exploitation¹⁶⁷.

En matière de nuisances sonores, l'ACNUSA dispose de fortes prérogatives, étant même en capacité de sanctionner les opérateurs en cas de non-respect des règles édictées en matière de protection de l'environnement sonore¹⁶⁸.

¹⁶³ Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique : <https://www.citepa.org/fr/>

¹⁶⁴ PREV'AIR : <http://www2.prevoir.org/>

¹⁶⁵ Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique : <https://www.citepa.org/fr/>

¹⁶⁶ Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires, *Rapport annuel 2019*, p.62.

¹⁶⁷ *Ibid.*

¹⁶⁸ Ministère de la transition écologique et solidaire : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/aviation-respect-des-regles-environnementales>

Depuis la loi du 12 juillet 2010, dite Grenelle II, l'ACNUSA a vu ses compétences élargies à la pollution atmosphérique sur et autour des aéroports. Toutefois, elle n'est compétente qu'en matière de qualité de l'air et ne se préoccupe pas des émissions de gaz à effet de serre : son rôle est avant tout de protéger les riverains au voisinage des aéroports, au niveau local. À l'heure où les enjeux environnementaux sont tels que la situation devient urgente, on peut se demander si cette restriction des compétences de l'ACNUSA est toujours pertinente. Selon une approche intégrée des problématiques de la qualité de l'air et de l'effet de serre, il semblerait opportun qu'une seule et même autorité veille au respect des réglementations en matière d'émissions polluantes au sein des plates-formes aéroportuaires, qu'il s'agisse de polluants de l'air local ou de gaz à effet de serre.

B) La multiplication des outils de planification

L'action publique se décline en un ensemble de plans nationaux et régionaux. À l'échelle nationale et selon l'article L1311-6 du code de la santé publique, un plan national santé environnement (PNSE) doit être élaboré tous les cinq ans. Il comporte, entre autres, des mesures destinées à réduire la pollution de l'air. Il est décliné, à l'échelle régionale, en plans régionaux santé environnement (PRSE).

Autre outil, le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PRÉPA) fixe la stratégie de l'État pour réduire les émissions de polluants atmosphériques au niveau national et respecter les exigences européennes. Il est prévu par la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV, article 64).

À l'échelle régionale, la loi LAURE instaure deux outils de protection. D'abord, on trouve les schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE). Ceux-ci évaluent la qualité de l'air, font un inventaire des principales émissions, recensent les principaux contributeurs et fixent ensuite des orientations visant à réduire la pollution atmosphérique locale, à l'horizon 2020 et 2050. Ces orientations portent notamment sur les dispositifs de surveillance de la qualité de l'air et d'atténuation des effets du changement climatique et sur

l'information du public¹⁶⁹. Les SRCAE complètent d'autres dispositifs existants, tels que les plans de déplacements urbains (PDU)¹⁷⁰.

On trouve également les plans de protection de l'atmosphère (PPA), codifiés aux articles L. 222-4 à L. 222-7 du code de l'environnement. Ils sont élaborés par les préfets et concernent les agglomérations de plus de 250 000 habitants, ainsi que les zones où les normes de qualité de l'air mentionnées ne sont pas respectées ou risquent de ne pas l'être. Le PPA vise à ramener à l'intérieur de la zone définie la concentration en polluants dans l'atmosphère à un niveau conforme aux normes de qualité de l'air.

Concernant les prescriptions spécifiques aux aéroports, il peut s'agir de mettre en œuvre la réglementation limitant l'utilisation des moteurs auxiliaires de puissance (APU) lors du stationnement des aéronefs, par exemple sur les aéroports de Paris-Charles-de-Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget (PPA 2013, Ile-de-France)¹⁷¹.

En outre, ces outils sont complétés par un dispositif défini par l'arrêté modifié du 7 avril 2016 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant. En ce qui concerne plus particulièrement le secteur aérien, le plan national d'action de l'aviation civile (PNAC) complète cet arrêté. Il prévoit des critères de déclenchement et des mesures d'urgence en cas de pic de pollution prolongé, allant de la simple information par NOTAM¹⁷² à des restrictions d'exploitation sur les aéroports, comme l'interdiction de certains tours de piste d'aéronefs en entraînement et de certains types d'essais moteurs.

Il existe donc de nombreux outils de planification qui traitent de la qualité de l'air et/ou des gaz à effet de serre. Comme le souligne l'ACNUSA dans son dernier rapport annuel, « leur multiplicité entraîne une lisibilité et une compréhension générale relativement difficiles. Bien qu'ils aient des objectifs différents, ils doivent néanmoins être cohérents afin de pouvoir être bien articulés entre eux »¹⁷³.

¹⁶⁹ Sénat, *Rapport de la commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air*, 2015, p.156.

¹⁷⁰ STAC, *Évaluation de la qualité de l'air autour d'un aéroport*, 2015, p.13.

¹⁷¹ *Ibid.*, p.11.

¹⁷² *Notice to airmen* : c'est un avis diffusé aux navigateurs aériens par télécommunication, donnant une information essentielle sur l'état ou la modification d'un moyen ou d'un service ou d'un danger pour la navigation aérienne.

¹⁷³ Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires, *Rapport annuel 2019*, p.31.

Parallèlement à ce cadre réglementaire général, des solutions émergent afin de rendre le transport aérien plus « propre ». Celles-ci combinent notamment programmes de compensation des émissions carbone, mesures d'actions volontaires et progrès technologiques. Cependant, ces solutions demeurent peu connues du grand public et ne permettent pas de réduire de façon significative et efficace les émissions de l'aviation civile.

Chapitre 2 : Des solutions émergentes timides et peu connues

Afin de réduire son impact environnemental, le secteur du transport aérien dispose de plusieurs leviers d'actions. Cependant, rares sont les mesures qui adoptent une approche intégrée des phénomènes de pollution atmosphérique : la plupart s'attachent à contrer soit les effets du réchauffement climatique, soit ceux de la dégradation de la qualité de l'air. Les mesures propres aux plates-formes aéroportuaires et celles relatives aux transporteurs aériens feront l'objet des deux sections de ce chapitre.

Section 1 – Les mesures propres aux plates-formes aéroportuaires

Comme l'ADEME a pu le constater dans son bilan national du programme d'actions des aéroports¹⁷⁴, le « *principal enjeu environnemental des aéroports n'est pas lié à leurs bâtiments ou leurs actions au sol, mais au trafic aérien (et dans une moindre mesure, au trafic automobile) qu'ils génèrent* ». Cependant, il ne faut pas négliger l'impact des infrastructures aéroportuaires et des activités menées au sol sur l'environnement. Des actions ont d'ores et déjà été prises à ce sujet. Historiquement, celles-ci concernaient d'abord la diminution des nuisances locales, dans l'optique de contribuer à une meilleure acceptation des activités aéroportuaires par les riverains. Désormais, plusieurs mesures sont également mises en œuvre pour diminuer l'impact du secteur aérien sur le climat¹⁷⁵. On distinguera les mesures de réduction des émissions prises par les exploitants

¹⁷⁴ ADEME, *Bilan national du programme d'actions des aéroports établi par l'ADEME en application du décret n°2016-565 et de l'article 45 de la loi n°2015-992*, 2018, p.10.

¹⁷⁵ C. Chkioua, Thèse professionnelle, *Aviation et Climat : "Analyse des moyens d'action publique pour limiter l'impact de l'aviation sur le changement climatique"*, 2009, p.50.

d'aéroport (ou les sous-traitants) (A) et les mesures prises par les pouvoirs publics (B).

A) Les mesures de réduction des émissions prises par les exploitants d'aéroport (ou les sous-traitants)

1) La réduction de l'impact de l'infrastructure aéroportuaire

L'infrastructure comprend notamment l'ensemble des pistes, voies de circulation des aéronefs, aires de stationnement, bâtiments de contrôle, aérogares et terminaux présents sur l'emprise aéroportuaire. En 2018, ACI EUROPE (le Conseil international des aéroports, de l'anglais *Airports Council International Europe*)¹⁷⁶ a publié une étude conduite auprès de 51 aéroports, représentant 60% du nombre total de passagers des États membres de l'Union européenne et de l'AELE (l'Association européenne de libre-échange). Cette étude reprend les principales actions entreprises par ces aéroports pour réduire leur impact sur l'environnement.

Au niveau des bâtiments construits, des mesures de rénovation peuvent être prises concernant la qualité énergétique (mise en place d'un management de l'énergie, travaux d'isolation, remplacement des chaudières au fioul par le gaz par exemple)¹⁷⁷. Les aérodromes ont également de plus en plus recours aux énergies renouvelables (centrale solaire ou géothermique, parc photovoltaïque ou, au moins, ombrières photovoltaïques pour les parcs de stationnement automobile...). Selon l'étude menée par ACI EUROPE, 61% des aérodromes sondés ont indiqué produire de l'énergie renouvelable sur place¹⁷⁸. Cependant, la part des aéroports dont les besoins énergétiques sont couverts en majorité par ce type d'énergie demeure faible, puisque seulement 3% d'entre eux ont déclaré que leurs besoins énergétiques étaient couverts à 61% par des énergies renouvelables. D'autres mesures existent, comme le remplacement des escalators par de nouvelles générations fonctionnant par détection du passage

¹⁷⁶ ACI EUROPE est l'entité européenne du Conseil international des aéroports (ACI), la principale organisation professionnelle fédérant les sociétés aéroportuaires mondiales. Basé en Belgique, à Bruxelles, ACI EUROPE représente 500 aéroports dans 45 pays européens.

¹⁷⁷ ADEME, *Bilan national du programme d'actions des aérodromes établi par l'ADEME en application du décret n°2016-565 et de l'article 45 de la loi n°2015-992*, 2018, p.43.

¹⁷⁸ Agence européenne de la sécurité aérienne, Rapport « *Environnement de l'Aviation Européenne* », 2019, p.67.

des usagers ou encore la récupération de l'énergie des ascenseurs en phase de freinage¹⁷⁹.

Les exploitants d'aéroport et les sociétés sous-traitantes peuvent aussi renouveler leur parc automobile et leurs engins de piste (véhicules légers, véhicules utilitaires, bus de pistes pour acheminer les passagers, voire tracteurs pour les chariots à bagages) en choisissant des modèles fonctionnant à l'énergie électrique ou autre énergie alternative au carburant fossile (ex : gaz naturel pour véhicules)¹⁸⁰. Les véhicules et engins existants peuvent aussi bénéficier de solutions telles que la mise en place de filtres à particules. Le personnel utilisant ces véhicules peut également être formé à « l'éco-conduite ». D'après l'étude ACI EUROPE, 86% des aéroports sondés ont indiqué qu'ils étaient équipés en véhicules électriques, 47% ont dit avoir des modèles hybrides et 35% possédaient des véhicules fonctionnant avec des carburants alternatifs durables¹⁸¹. En outre, 18% d'entre eux proposaient des mesures incitatives aux taxis pour les encourager à utiliser ces types de véhicules¹⁸².

Autre mesure, les aéroports peuvent prévoir les infrastructures nécessaires à l'approvisionnement des aéronefs en carburants alternatifs durables. Les aéroports d'Oslo et de Bergen ont été les premiers au monde à offrir ce type de carburant aux compagnies aériennes¹⁸³ de façon régulière, suivis par ceux de Los Angeles et Stockholm.

2) L'ACA : un programme d'actions volontaire

« *Airport Carbon Accreditation* », ou « ACA », est un dispositif volontaire porté par ACI EUROPE et destiné à la gestion des émissions carbone par l'industrie aéroportuaire. Lancé en 2009 en Europe, il couvre désormais toutes les régions du monde¹⁸⁴. Chaque aéroport s'inscrivant dans cette démarche fait l'objet d'une vérification et d'une certification par un tiers indépendant concernant les mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre qu'il a entreprises.

¹⁷⁹ *Ibid.*, p.53.

¹⁸⁰ *Ibid.* p.39.

¹⁸¹ *Ibid.*, p.67.

¹⁸² *Ibid.*

¹⁸³ *Ibid.*, p.49.

¹⁸⁴ Airports Council International, *Rapport annuel de l'ACA 2017-2018*.

Quatre niveaux d'accréditation existent, selon l'ordre suivant :

- Niveau 1 : cartographie et état des lieux ;
- Niveau 2 : réduction ;
- Niveau 3 : optimisation ;
- Niveau 3+ : neutralité. En Europe, 44 aéroports ont atteint le dernier niveau et sont neutre en carbone, sur les 147 aéroports certifiés. Les aéroports de Lyon, Nice, Cannes et du Golfe de Saint-Tropez sont les 4 aéroports français neutres en carbone.

En août 2019, 277 aéroports étaient accrédités, représentant 43,4% du trafic aérien mondial de passagers¹⁸⁵.

Il est regrettable que la portée de l'ACA se limite à ce jour aux seules émissions de dioxyde de carbone¹⁸⁶ et qu'il n'intègre ni les autres gaz à effet de serre, ni les polluants de l'air local. En outre, la neutralité carbone ne signifie pas que l'aéroport ne produit aucune émission de CO₂. En effet, selon la méthodologie de calcul des émissions carbone de l'ACA, les compensations des émissions directes sont prises en compte. Par exemple, les aéroports de la Côte d'Azur ont compensé cette année, à hauteur de 1 961 tonnes équivalent CO₂, leurs émissions directes au travers de trois projets de compensation (situés au Chili, au Rwanda ou encore au Togo).

3) La diminution du temps de roulage

Étant donné le dimensionnement des réacteurs, le roulage des aéronefs est probablement la phase la moins efficace¹⁸⁷, car elle constitue une part non négligeable de leur consommation de carburant lors d'un vol et les nuisances atmosphériques occasionnées sont relativement importantes. D'après le bilan de l'ADEME¹⁸⁸, les émissions des aéronefs au roulage constituent le premier poste d'émission pour les GES, les NO_x, les COV et les particules en suspension.

Plusieurs mesures peuvent être prises afin de réduire l'impact des aéronefs lors du roulage. Tout d'abord, l'exploitant aéroportuaire peut effectuer une modification des pistes, des bretelles de dégagement et des aires de mouvement

¹⁸⁵ ACA results : <https://airportCO2.org/>

¹⁸⁶ ADEME, *Bilan national du programme d'actions des aéroports établi par l'ADEME en application du décret n°2016-565 et de l'article 45 de la loi n°2015-992*, 2018, p.82.

¹⁸⁷ BIPE, *Etude sur l'optimisation environnementale du roulage au sol des aéronefs, sur les plateformes aéroportuaires françaises*, 2011, p.46.

¹⁸⁸ ADEME, *Bilan national du programme d'actions des aéroports établi par l'ADEME en application du décret n°2016-565 et de l'article 45 de la loi n°2015-992*, 2018, p.26.

afin de limiter la distance parcourue par les aéronefs au sol et donc réduire le temps de roulage. Ces mesures seront d'autant plus efficaces que la plate-forme aéroportuaire est grande, diminuant ainsi les distances de roulage de façon significative.

Ensuite, il existe des procédures d'optimisation du roulage au sol. Par exemple, des compagnies aériennes ont d'ores et déjà mis en place des procédures de roulage avec un — voire deux, selon le type avion — moteurs éteints, pour réduire la consommation de carburant. En outre, la Commission européenne et Eurocontrol ont développé un projet, le CDM (pour *Collaborative Decision Making*), destiné à optimiser la gestion du trafic en renforçant la coordination entre les partenaires aéroportuaires (compagnies aériennes, aéroports, assistants en escale et organisme ATS (Air Traffic Service))¹⁸⁹. Le CDM permettra de fluidifier le trafic et faciliter la prise de décision en partageant les informations en temps réel. Pour cela, les aéroports qui mettent en œuvre la démarche CDM obtiennent une accréditation de conformité, dite « *Airport-CDM* » (ou A-CDM). L'aéroport de Roissy - Charles de Gaulle a été certifié A-CDM en 2010. Cela aurait permis une réduction de 20 % du temps de roulage sur la plate-forme¹⁹⁰ et une économie de 9 tonnes de carburant par jour en 2011, soit une émission de 32 tonnes de CO₂ dans l'atmosphère¹⁹¹. Cependant, le dispositif de CDM est très complexe et coûteux à mettre en place. Il peine à être implémenté au sein des aéroports français et semble peu adapté aux petites plates-formes.

Enfin, des solutions dites de « roulage vert » sont en cours de développement. Elles consistent à faire rouler les avions par tout autre moyen que leurs moteurs. Le STAC a réalisé une étude spécifiquement sur ce sujet en 2012¹⁹². Deux solutions principales ont été envisagées : le tractage par des véhicules spécialisés et l'intégration de moteurs électriques dans les trains d'atterrissage des avions¹⁹³.

Concernant la première solution, il s'agit de mettre en place un système de remorquage des avions en bout de piste par un véhicule prévu à cet effet. Par

¹⁸⁹ *Ibid.*, p.28.

¹⁹⁰ BIPE, *Etude sur l'optimisation environnementale du roulage au sol des aéronefs, sur les plateformes aéroportuaires françaises*, 2011, p.46.

¹⁹¹ CDM Paris : <https://www.cdmparis.net/Pages/PARIS-CHARLES%20DE%20GAULLE.aspx>

¹⁹² STAC, *Le roulage « vert » sur les grandes plates-formes aéroportuaires, Simulations à Paris-Charles de Gaulle*, 2012.

¹⁹³ *Ibid.*, p.2.

exemple, la société TLD a développé le TaxiBot®¹⁹⁴, un tracteur qui permet un roulage commandé depuis le cockpit, réacteurs éteints. L'énergie du tracteur provient d'un moteur diesel et sa propulsion est assurée par des moteurs électriques logés dans les roues. D'après une étude¹⁹⁵ du MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), la réduction de consommation de carburant durant la phase de roulage pourrait atteindre jusqu'à 75 %, réduisant également fortement les émissions en CO₂, HC et CO. A contrario, les émissions en NO_x seraient plus élevées, d'où la nécessité d'une approche intégrée des problématiques de qualité de l'air et d'effet de serre : il conviendrait donc de mesurer précisément l'impact de cette solution de tractage pour évaluer le gain réel qu'elle engendre pour l'environnement. Autre inconvénient, le tractage est susceptible de générer une fatigue structurelle sur le train d'atterrissage et peut donc poser des problèmes de sécurité¹⁹⁶.

La deuxième solution est relative à la mise en place d'une motorisation alternative embarquée pour la phase de roulage. En développement depuis 2011 et présentée au salon du Bourget deux ans plus tard par l'équipementier Safran — en partenariat avec Honeywell — sous le nom EGTS™ (*Electric Green Taxiing System*), cette solution consistait en un petit moteur électrique intégré dans chaque train d'atterrissage principal. L'avion pouvait ainsi rouler sans recourir aux réacteurs principaux¹⁹⁷ et gagner en autonomie pour la gestion des opérations aériennes (absence de *push back* notamment). Mais son avenir et son déploiement demeurent incertains depuis que Honeywell s'est retiré du projet en 2016. WheelTug, concept concurrent de l'EGTS, est quant à lui toujours dans la course. Cependant, cette solution pose une difficulté puisque l'énergie électrique utilisée par le moteur était fournie par l'APU, qui est source d'émission de polluants atmosphérique et dont l'usage est limité — voire interdit — sur certaines plates-formes aéroportuaires. En outre, cette technologie semble peu adaptée pour les avions long-courriers, car sa masse engendrerait une surconsommation tout au long du vol¹⁹⁸.

¹⁹⁴ ACNUSA, *Guide méthodologique à destination des aéroports pour évaluer leur impact sur la qualité de l'air locale*, 2016, p.36.

¹⁹⁵ MIT, « *Evaluation of strategies for reducing taxi out emissions at airports* », 2010.

¹⁹⁶ STAC, *Le roulage « vert » sur les grandes plates-formes aéroportuaires, Simulations à Paris-Charles de Gaulle*, 2012, p.2.

¹⁹⁷ ACNUSA, *Guide méthodologique à destination des aéroports pour évaluer leur impact sur la qualité de l'air locale*, 2016, p.36.

¹⁹⁸ BIPE, *Etude sur l'optimisation environnementale du roulage au sol des aéronefs, sur les plateformes aéroportuaires françaises*, 2011, p.53.

Ainsi, ces solutions de roulage « vert » peuvent présenter certains avantages en termes de réduction des émissions de polluants atmosphériques, mais elles sont toujours en phase de test et leur implémentation à grande échelle tarde à arriver. En outre, l'utilisation de dispositifs de roulage « vert », moins puissants que les moteurs d'aéronefs, pourrait entraîner un allongement des durées moyennes de roulage sur l'ensemble de la plate-forme¹⁹⁹ et donc des risques de congestion sur les pistes. Ces inconvénients, en plus du coût de leur déploiement, font que ces solutions sont davantage utilisées comme effet d'annonce pour « reverdir » l'image des acteurs du transport aérien, que pour devenir de réelles technologies de rupture capable de remplacer celles qui dominent actuellement sur le marché.

4) Les moyens de substitution à l'APU

Les moteurs auxiliaires de puissance des avions sont des sources importantes d'émission de polluants atmosphériques sur un aéroport.

Selon l'ACNUSA²⁰⁰, l'APU « peut être substitué au sol par deux types d'appareils ». Le premier appareil est l'équipement des postes de stationnement des aéronefs en prises d'alimentation au standard aéronautique « 400 Hz ». Il permet de fournir de l'électricité aux aéronefs, lesquels peuvent donc éteindre leur APU. Le 400 Hz peut également se substituer aux équipements préexistants fonctionnant aux énergies fossiles, tels que les groupes électriques mobiles (GPU, pour *Ground Power Unit*). Le deuxième appareil, appelé PCA (pour *Pre-Conditioned Air*), permet de fournir la climatisation ou le chauffage de l'aéronef. Tout comme l'alimentation 400 Hz, le PCA est situé dans les passerelles ou positionné en sous-sol²⁰¹.

Ces deux appareils ont leur limite : ils ne se substituent pas intégralement à l'utilisation des APU. En effet, l'APU a de multiples fonctions (par exemple, il permet le démarrage des moteurs et assure une alimentation en électricité stable pour les systèmes électriques, hydrauliques et pneumatiques des aéronefs). Pour cette raison, l'APU est notamment démarré environ 10 minutes avant

¹⁹⁹ STAC, *Le roulage « vert » sur les grandes plates-formes aéroportuaires, Simulations à Paris-Charles de Gaulle*, 2012, p.3.

²⁰⁰ Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires : <https://www.acnusa.fr/fr/le-saviez-vous/les-avions/quest-ce-quun-apu-auxiliary-power-unit/116>

²⁰¹ ADEME, *Bilan national du programme d'actions des aéroports établi par l'ADEME en application du décret n°2016-565 et de l'article 45 de la loi n°2015-992*, 2018, p.33.

l'allumage des moteurs principaux²⁰², que le poste soit équipé de 400 Hz ou non. Nécessaire pour alimenter les systèmes vitaux d'un avion, l'APU ne peut donc pas être coupé pendant l'intégralité du temps où l'aéronef se trouve au sol. En outre, s'il est relativement aisé d'équiper les postes « au contact » des aérogares, la tâche est plus ardue (et plus coûteuse) concernant les aires de stationnement « au large ». On peut également se demander si l'utilisation de l'alimentation 400 Hz en lieu et place de l'APU ne revient pas à « déplacer la pollution », puisque les centrales d'énergie fournissant l'électricité aux aéroports produisent généralement leurs propres émissions de polluants.

L'aéroport de Toulouse-Blagnac a réalisé une étude sur les émissions atmosphériques générées pendant le temps de l'escale. Cette étude a mis en évidence que lors de 82 % des escales au contact, le 400 Hz a été utilisé pour fournir de l'électricité à l'avion, permettant de réduire l'utilisation de l'APU, durant plus de 50 % du temps (soit environ 25 minutes) et de diminuer les émissions en CO₂ de 2 222 tonnes (soit 40 % de réduction par rapport à l'usage de l'APU).

L'étude a également permis d'observer que l'utilisation du 400 Hz dépend en partie des politiques économique et environnementale des compagnies aériennes. Si, en général, elles souhaitent réduire le temps d'utilisation de l'APU pour économiser du kérosène, certaines compagnies ont une organisation différente et laissent fonctionner l'APU pour gagner du temps sur les opérations d'embarquement et de débarquement des passagers²⁰³. C'est parfois le cas des compagnies *low-cost*, qui privilégient les postes de stationnement « au large » plutôt qu'au contact des aérogares et donc ne bénéficient pas des branchements 400 Hz et PCA.

L'utilisation de l'APU dépend aussi de la disponibilité des moyens de substitution sur les aéroports. Selon l'étude conduite auprès de 51 aéroports par ACI EUROPE, 82% d'entre eux fournissaient aux aéronefs une alimentation en 400 Hz et 58% d'entre eux étaient munis de PCA en 2018. En outre, en 2017, sur les onze aéroports « acusés », seuls deux aéroports étaient équipés en PCA (Paris – Charles-de-Gaulle avec seize postes et Nice – Côte d'Azur avec cinq postes sur le parking Kilo, localisé à proximité des riverains de l'aéroport)²⁰⁴, ce

²⁰² STAC, *Rapport d'étude, Intégration de données environnementales dans les études de capacité aéroportuaire*, 2012, p.27.

²⁰³ ACNUSA, *Guide méthodologique à destination des aéroports pour évaluer leur impact sur la qualité de l'air locale*, 2016, p.11.

²⁰⁴ ACNUSA, *Rapport annuel 2019*, p.22.

qui traduit un faible engagement des exploitants d'aéroports dans le déploiement des moyens de substitution à l'APU en climatisation/chauffage.

Il convient de noter que l'Union des aéroports français (UAF) a lancé début 2018 une étude sur les APU et les moyens de substitution, afin de mieux évaluer les gains en matière de réduction des émissions atmosphériques. Cette étude, qui s'est révélée plus complexe qu'attendu, n'avait toujours pas abouti à l'été 2019.

5) Substitution et complémentarité modale

Afin de réduire la part, pour l'heure importante, des émissions dues au transport routier généré à l'extérieur de la plate-forme aéroportuaire, l'exploitant d'aéroport se doit de développer des modes de transport alternatifs. Transports ferroviaire et aérien ne doivent pas être considérés comme concurrents, mais complémentaires. En effet, le développement des lignes à grande vitesse en France a permis de raffermir le rôle du transport aérien, irremplaçable pour des trajets moyens et long-courriers ainsi que pour des liaisons desservant des zones géographiques enclavées.

Ainsi, le développement de la complémentarité modale entre ces deux moyens de transport (par exemple, l'achat d'un billet unique train-avion) est un levier permettant de mieux desservir les hubs ou les grands aéroports régionaux, en lieu et place des véhicules personnels, utilisant des énergies fossiles, ou de l'avion lui-même²⁰⁵. En outre, il améliore le confort des passagers par une simplification des procédures, notamment d'enregistrement et de transfert de bagages. Ce point est donc un levier important que les exploitants d'aéroport français peuvent encore améliorer.

Cela passe par la conception de gares ferroviaires dans les enceintes aéroportuaires, comme la gare TGV-RER de Roissy-Charles de Gaulle et la gare TGV de Lyon-Saint-Exupéry, ou à une distance très proche, comme la gare TER de Vitrolles-Aéroport Marseille Provence.

Les autres transports en commun ne doivent pas non plus être négligés, d'autant plus lorsqu'ils sont neutres en carbone. Par exemple, le projet HyPort prévoit le déploiement des infrastructures de production et de distribution d'hydrogène sur les zones réservées et publiques des deux aéroports de

²⁰⁵ C. Chkioua, Thèse professionnelle, *Aviation et Climat : "Analyse des moyens d'action publique pour limiter l'impact de l'aviation sur le changement climatique"*, 2009, p.52.

Toulouse-Blagnac et de Tarbes-Lourdes-Pyrénées²⁰⁶. Cela permettra d’approvisionner aussi bien les véhicules des plates-formes aéroportuaires que les véhicules de transport en commun ou de particuliers. Autre exemple, depuis décembre 2018, les deux aérogares de l’aéroport de Nice - Côte d’Azur sont desservies par la ligne de tramway niçoise.

Cependant, le déploiement des autres moyens de transport doit être mené de concert avec des actions de communication afin d’informer et convaincre les usagers de les utiliser. Toujours selon ACI EUROPE, si 98% des aéroports européens sondés ont indiqué être reliés à un réseau de transports en commun, moins de 20% de leurs employés les ont empruntés pour se rendre au travail²⁰⁷. De même, en moyenne, 36% des passagers ont accédé aux plates-formes aéroportuaires par transports en commun en 2018²⁰⁸. Ainsi et comme l’explique l’ACNUSA dans son guide méthodologique de 2016²⁰⁹, « *une meilleure desserte par les transports en commun reste un enjeu d’attractivité pour les plates-formes aéroportuaires* ». D’autres pistes de réflexion pour les aéroports existent d’ailleurs, comme la pratique du co-voiturage pour les usagers et les passagers, pour l’heure peu développée.

B) Les mesures de réduction des émissions mesures prises par les pouvoirs publics

1) Les arrêtés de restriction

Des restrictions d’exploitation peuvent être décidées pour limiter les nuisances environnementales de façon pérenne sur les aéroports, notamment sonores²¹⁰. Elles sont prises par arrêté ministériel. Par exemple, un arrêté de restriction interdit à l’aéroport de Nice « *l’utilisation du groupe auxiliaire embarqué (APU) [...] pendant toute la durée du stationnement sur le parking Kilo* »²¹¹. Si cet arrêté

²⁰⁶ M. Angel, « *Toulouse veut devenir la capitale française de l’hydrogène* », dans L’Usine Nouvelle [En ligne] : <https://www.usinenouvelle.com/article/toulouse-capitale-de-l-hydrogene.N692974> (page consultée le 30 juin 2019).

²⁰⁷ Agence européenne de la sécurité aérienne, Rapport « *Environnement de l’Aviation Européenne* », 2019, p.68.

²⁰⁸ *Ibid.*

²⁰⁹ ACNUSA, *Guide méthodologique à destination des aéroports pour évaluer leur impact sur la qualité de l’air locale*, 2016, p.37.

²¹⁰ Ministère de la transition écologique et solidaire : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/aeroports-restrictions-environnementales>

²¹¹ Arrêté du 2 mars 2010 portant restriction d’exploitation de l’aérodrome de Nice-Côte-d’Azur.

visait en priorité une réduction des nuisances sonores au voisinage de l'aéroport, il a également provoqué une réduction des émissions de polluants dans l'atmosphère puisque les transporteurs aériens se sont vus dans l'obligation de couper leur APU et d'utiliser les moyens de substitution mis à leur disposition par l'exploitant aéroportuaire.

Autre exemple, l'arrêté du 27 juillet 2012, réglementant l'utilisation des moyens permettant aux aéronefs de s'alimenter en énergie et climatisation-chauffage lors de l'escale sur les aérodromes de Paris-Charles-de-Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget, mentionne explicitement, entre autres, une obligation pour les transporteurs d'utiliser les moyens de substitution mis à leur disposition, et même une durée maximale d'utilisation de l'APU lorsque le poste de stationnement n'en est pas équipé.

2) Le levier fiscal

En France, seules les nuisances sonores générées par les aéronefs font l'objet d'une taxe : c'est la taxe sur les nuisances sonores aériennes (TNSA)²¹², collectée par les services de la DGAC et affectée aux exploitants d'aérodrome. Le produit de cette taxe permet de financer les travaux d'insonorisation des riverains habitant près des aérodromes. Cependant, aucune taxe de ce type n'existe concernant les émissions de polluants atmosphériques.

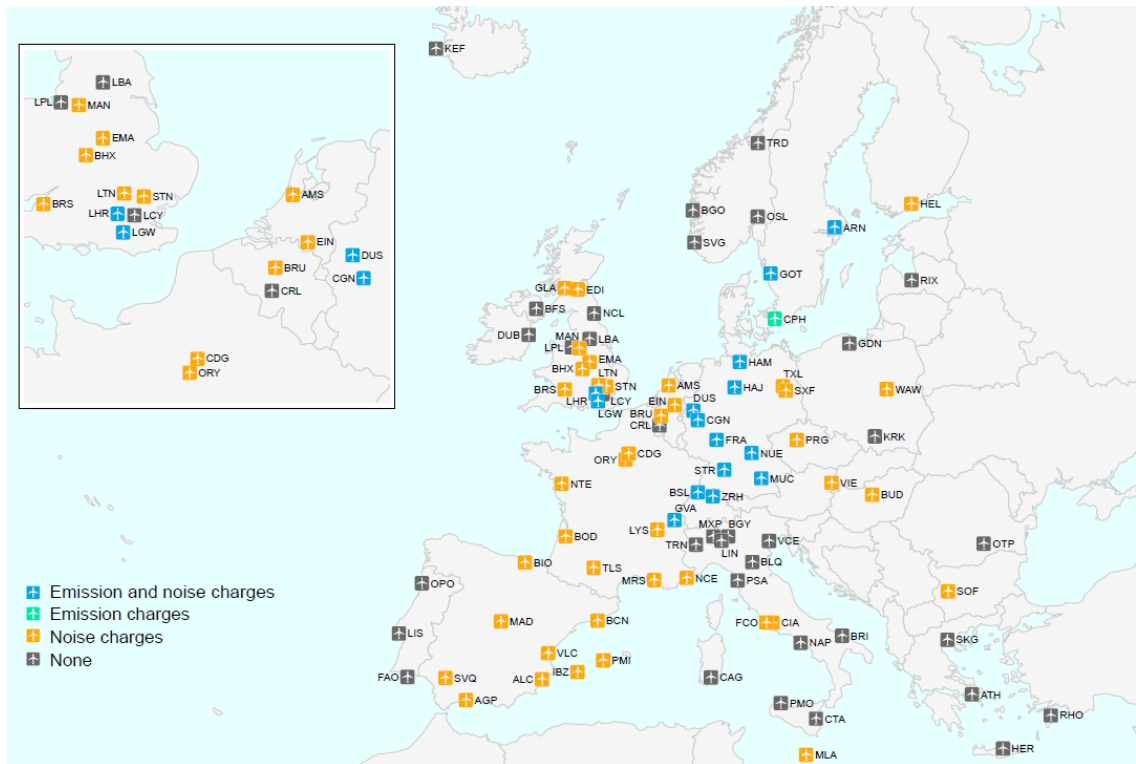
Une telle mesure existe par exemple pour les aéroports de Zurich, Genève et Bâle²¹³, qui taxent les émissions d'oxyde d'azote (NO_x). Selon l'AESA, environ 60% des aéroports les plus fréquentés de l'UE et de l'AELE ont mis en place des taxes environnementales²¹⁴ sur les nuisances sonores et/ou les émissions, comme le montre la carte ci-dessous.

²¹² Elle est prévue par l'article 19 de la loi de finances rectificative pour 2003 (n°2003-1312 du 30/12/2003)

²¹³ BIPE, *Etude sur l'optimisation environnementale du roulage au sol des aéronefs, sur les plateformes aéroportuaires françaises*, 2011, p.57.

²¹⁴ Agence européenne de la sécurité aérienne, Rapport « *Environnement de l'Aviation Européenne* », 2019, p.66.

Figure 10 – Les différents systèmes de tarification liés à l'environnement dans les 100 aéroports les plus actifs de l'UE + AELE en termes de mouvements aériens



Source : Agence européenne de la sécurité aérienne, Rapport « *Environnement de l'Aviation Européenne* », 2019, p.66.

Il convient de noter qu'aucune taxe n'est prévue pour les émissions de polluants atmosphériques. À ce propos, l'ACNUSA a émis une recommandation en 2017 à l'encontre des exploitants d'aéroports, concernant la mise en place d'une modulation de la redevance d'atterrissage en fonction des émissions en oxydes d'azote des aéronefs (Recommandation N° 3²¹⁵), mais les aéroports se montrent réservés sur ce sujet²¹⁶.

Section 2 - Les mesures propres aux transporteurs aériens

Parallèlement aux mesures propres aux activités aéroportuaires, des actions sont entreprises qui concernent spécifiquement les transporteurs aériens.

²¹⁵ ACNUSA, *Rapport annuel 2017*, p.23.

²¹⁶ ACNUSA, *Rapport annuel 2019*, p.57.

Celles-ci peuvent prendre la forme de normes de certification des moteurs des aéronefs destinés à l'aviation civile, de programmes de recherche et de développement des technologies moins polluantes, d'incitations fiscales, de programmes de compensation des émissions ou encore d'une promotion des carburants alternatifs durables pour l'aviation.

A) La certification des moteurs par l'OACI

Tout comme en matière acoustique, le Conseil de l'OACI adopte des normes de certification en ce qui concerne les émissions de polluants de l'air local. Ces normes figurent dans l'Annexe 16 (Protection de l'environnement) à la Convention de Chicago, le volume II étant spécialement consacré aux émissions des moteurs d'aviation.

Ces normes ont pour objet la préservation de la qualité de l'air aux abords des aéroports et fixent des limites aux émissions d'oxydes d'azote (NO_x), d'oxydes de carbone et d'hydrocarbures non brûlés, pour un cycle de décollage et d'atterrissage (CDA ou LTO, en anglais) de référence au-dessous de 915 mètres de hauteur (correspondant à 3 000 pieds). En matière d'émissions de NO_x, le CAEP a adopté plusieurs normes, toujours plus contraignantes. La norme sur les NO_x en vigueur actuellement a été adoptée lors de la huitième réunion du CAEP (dite « norme CAEP/8 »), en février 2010 ; elle est 15 % plus contraignante que la norme précédente (dite « norme CAEP/6 »)²¹⁷.

Plus récemment, le Conseil de l'OACI a adopté une norme sur les émissions de CO₂ des aéronefs. Figurant dans le nouveau volume III de l'Annexe 16 à la Convention de Chicago, cette norme prend la forme d'une série de SARPs²¹⁸ qui s'appliqueront « à partir de 2020, aux nouvelles conceptions de types d'avions et, à partir de 2023, aux conceptions de types d'avions qui sont déjà en production »²¹⁹.

²¹⁷ Organisation de l'Aviation Civile Internationale : <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/technology-standards.aspx>

²¹⁸ Les *Standards and Recommended Practices* sont les normes et pratiques recommandées émises par l'OACI.

²¹⁹ OACI : <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/FR/ICAO-Council-adopts-new-CO2-emissions-standard-for-aircraft.aspx>

B) Les progrès technologiques et le renouvellement de flotte

Bien que les émissions de polluants atmosphériques ne cessent de croître en même temps que le trafic aérien, les progrès technologiques et le renouvellement des flottes ont permis d'optimiser les consommations de carburant, d'accroître les performances des aéronefs et de contrebalancer — du moins, en partie — l'impact du transport aérien sur l'environnement²²⁰, de telle sorte que la consommation moyenne de kérosène pour les vols commerciaux était de 3,4 l / 100 km par passager en 2017²²¹. L'AESA estime que la consommation moyenne de kérosène à l'horizon 2040 devrait être comprise entre 2,6 et 3,0 l / 100 km par passager²²², contre 8,0 l / 100 km par passager en 1985.

De nouveaux projets émergent pour relever les défis environnementaux de l'aviation, mais ils peinent à s'imposer sur le devant de la scène. On compte notamment de nouvelles technologies hybrides, des avancées techniques concernant les qualités aérodynamiques des ailes des avions ou encore les progrès sur les drones électriques destinés au transport de passagers (dits VTOL, pour *Vertical Take-Off and Landing*, c'est-à-dire d'avions dotés d'une capacité de décollage et d'atterrissage vertical).



Par exemple, Airbus Group Innovations a conçu un prototype d'avion à propulsion électrique, l'E-Fan, avant d'annoncer son retrait du projet en 2017. Airbus, Siemens et Rolls-Royce s'orientent désormais vers la conception d'un aéronef utilisant une

propulsion hybride, mêlant à la fois des moteurs électriques et des moteurs à combustion et baptisé E-Fan X²²³. Ce prototype, moins ambitieux que le premier, apparaît davantage comme une nouvelle étape intermédiaire qu'une véritable technologie de rupture. Airbus envisage un premier vol d'ici 2021.

²²⁰ Agence européenne de la sécurité aérienne, *Rapport « Environnement de l'Aviation Européenne »*, 2019, p.8.

²²¹ *Ibid.*, p.24.

²²² *Ibid.*

²²³ *Ibid.*, p.38.

Autre exemple, le concept d'architecture de moteurs contrarotative conçu par Safran (baptisé *Counter Rotating Open Rotor* ou CRoR), qui pourrait réduire la consommation de carburant de 25 à 30% par rapport aux moteurs actuels²²⁴.

Une autre piste intéressante à étudier, recommandée par le STAC, consiste à développer un enregistreur de bord installé à bord des appareils, qui tiendrait compte de l'ensemble des paramètres d'un vol pour estimer et enregistrer en temps réel les émissions de polluants et leurs effets (*cf.* le concept de « boîte verte »²²⁵ proposé par le STAC).

Le soutien à la recherche étant primordial, les politiques publiques doivent donc continuer leurs efforts, notamment en concluant des partenariats entre secteurs public et privé, pour qu'ils se partagent les risques associés aux projets de recherche. Cela peut passer par des programmes de soutien à la recherche, à l'instar des programmes européens de type Clean Sky²²⁶, SESAR²²⁷, Life²²⁸ et Horizon 2020²²⁹.

En France, la mise en place en juillet 2008 du Conseil pour la Recherche Aéronautique Civile (CORAC) s'inscrit dans une démarche similaire.

C) Le levier fiscal

En accord avec le principe du pollueur-payeur, les instruments fiscaux permettent de faire supporter aux agents économiques une taxe « à hauteur des effets environnementaux négatifs générés par leurs activités afin de leur faire

²²⁴ Safran : <https://www.safran-aircraft-engines.com/fr/innovation-0>

²²⁵ C. Chkioua, Thèse professionnelle, *Aviation et Climat : "Analyse des moyens d'action publique pour limiter l'impact de l'aviation sur le changement climatique"*, 2009, p.104.

²²⁶ L'initiative technologique conjointe Clean Sky est un partenariat européen de coopération entre le secteur public (l'Union européenne) et le secteur privé (l'industrie aéronautique européenne), dont le but est de développer un ensemble de technologies nécessaires pour un système aérien propre, innovant et concurrentiel.

²²⁷ Le programme SESAR, volet technologique de la construction du Ciel unique européen, a pour objectif de moderniser le système de gestion du trafic aérien européen en développant de nouveaux concepts opérationnels.

²²⁸ Le programme LIFE est un instrument financier de la Commission européenne entièrement dédié à soutenir des projets dans les domaines de l'environnement et du climat. Pour la période 2014-2020 le programme LIFE est doté d'un budget de plus de 3 milliards d'euros à l'échelle européenne.

²²⁹ Horizon 2020 est le programme européen pour la recherche et le développement pour la période 2014-2020.

internaliser le traitement de la pollution »²³⁰. Les recettes perçues peuvent alors être allouées aux programmes de soutien à la recherche, par exemple.

Cette solution est d'actualité, puisque Élisabeth Borne, ministre chargée des transports et désormais également ministre de la Transition écologique et solidaire, a récemment annoncé l'instauration d'une écotaxe sur les billets pour les vols au départ de la France, dont le montant sera variable en fonction du type de destination court, moyen ou long-courrier et de la classe de voyage du passager. Plus précisément, selon Le Monde, « l'écotaxe sera de 1,50 euro en classe éco pour les vols intérieurs et intra-européens, de 9 euros pour ces vols en classe affaires, de 3 euros pour les vols en classe éco hors Union européenne et de 18 euros pour ces vols en classe affaires »²³¹. Selon la ministre, cette taxe devrait rapporter 182 millions d'euros à partir de 2020, qui seront consacrés à des investissements pour des infrastructures de transports plus écologiques, notamment ferroviaires.

Étant donné le risque de pénalisation des transporteurs aériens nationaux par rapport aux autres transporteurs, on peut regretter que cette taxe n'ait pas été négociée à l'échelle européenne, dans une optique d'uniformisation des règles de concurrence au sein du Ciel unique européen. En outre, comme l'avait souligné le rapport Giblin en 2005²³², cette mesure est critiquable car les taxes sur les billets d'avion s'avèreraient moins efficaces que les taxes ou redevances assises sur le niveau réel des émissions (telles qu'une taxe sur le kérosène), pour inciter les compagnies aériennes à minimiser leurs émissions.

D) Le programme CORSIA et le système ETS

En 2008, l'Union européenne a adopté une directive²³³ visant à inclure l'aviation dans son schéma de marché de permis d'émission (dit SEQE-UE ou EU-ETS en anglais) à partir de 2012. Les émissions de l'aviation sont donc soumises aux

²³⁰ C. Chkioua, Thèse professionnelle, *Aviation et Climat : "Analyse des moyens d'action publique pour limiter l'impact de l'aviation sur le changement climatique"*, 2009, p.78.

²³¹ Le Monde [En ligne], « Le gouvernement met en place une écotaxe sur les billets d'avion », https://www.lemonde.fr/planete/article/2019/07/09/le-gouvernement-met-en-place-une-ecotaxe-sur-les-billets-d-avion_5487336_3244.html, (page consultée le 11 juillet 2019).

²³² J.-P. Giblin, Rapport pour le Conseil général des ponts et chaussées, *Maîtrise des émissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile*, mars 2005.

²³³ Directive 2008/101/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 modifiant la directive 2003/87/CE afin d'intégrer les activités aériennes dans le système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre.

objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre fixés par l'UE, à savoir 20% pour 2020 et 40% pour 2030, et font donc partie de la contribution de l'UE à la réalisation des objectifs de l'Accord de Paris²³⁴.

Ce système, basé sur une méthode dite « *Cap and Trade* » consiste à fixer un niveau d'émission de dioxyde de carbone que les entreprises ne doivent pas dépasser sur une période donnée et à créer un « marché du carbone » au sein duquel chaque entreprise a la possibilité d'acheter ou de vendre des quotas d'émission (ou droits d'émissions), en fonction de ses résultats en termes d'émissions de CO₂.

Initialement, le mécanisme ETS s'appliquait à l'ensemble des vols au départ ou à l'arrivée de l'Union, que les transporteurs soient communautaires ou non. Toutefois, avec la décision²³⁵ dite « *stop the clock* » en 2013, les vols à destination et en provenance d'aéroports situés dans des pays n'appartenant pas à la zone économique européenne ont par la suite été exclus du SEQUE jusqu'à fin 2023. Cette dérogation temporaire était destinée à faciliter les négociations internationales au niveau de l'OACI sur l'adoption d'une mesure fondée sur le marché pour les émissions de l'aviation internationale.

En octobre 2016, la 39e Assemblée générale des États contractants de l'OACI a adopté la résolution A39-3²³⁶, qui introduit le programme CORSIA (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*), ayant pour but de compenser les émissions de CO₂ de l'aviation internationale. Celui-ci, contrairement au système SEQUE, est fondé sur la méthode dite « *Baseline and Credit* », qui consiste à imposer sur la base d'une année de référence (en l'occurrence, les niveaux de 2020) un objectif de réduction des émissions de CO₂ sur une période donnée. Un crédit d'émissions est attribué à chaque acteur.

La philosophie est différente de celle du SEQUE car le CORSIA part du postulat que le transport aérien international ne peut pas réduire son niveau global d'émissions, mais qu'il peut les compenser par des réductions dans d'autres secteurs. Concrètement, les transporteurs aériens devront acheter des crédits de

²³⁴ Agence européenne de la sécurité aérienne, *Rapport « Environnement de l'Aviation Européenne »*, 2019, p.75.

²³⁵ Décision n ° 377/2013/UE du Parlement européen et du Conseil du 24 avril 2013 dérogeant temporairement à la directive 2003/87/CE établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre dans la Communauté.

²³⁶ OACI, résolution A39-3 : Déclaration consolidée sur les politiques et pratiques de l'OACI en matière de protection de l'environnement - Régime mondial de mesures basées sur le marché (MBM), 2016.

compensation (ou unités d'émission) destinés à pallier leurs émissions excédant les niveaux de référence de 2020. Les unités d'émission éligibles contribueront alors à la réduction des émissions dans divers secteurs de l'économie, tels que les énergies renouvelables ou la gestion des déchets.

Le programme comprend trois phases de mise en œuvre : la phase pilote (2021-2023), la première phase (2024-2026) et la deuxième phase (2027-2035). Au cours de la phase pilote et de la première phase, les exigences en matière de compensation ne seront applicables qu'aux vols entre États ayant accepté de participer. Au 16 juillet 2019, 81 États (dont les États membres de l'Union européenne) avaient officiellement notifié à l'OACI leur intention de participer volontairement à la phase pilote et à la première phase de CORSIA, ce qui représentait environ 76,63% de l'activité aérienne internationale en termes de passagers équivalents-kilomètres-transportés.

Par le CORSIA, le transport aérien devient la première industrie à adopter, à l'échelle mondiale, un système de mesures basées sur le marché destiné à réduire les émissions de CO₂. Néanmoins, en Europe, des problèmes de compatibilité entre les deux instruments (SEQE et CORSIA) se présentent lorsqu'il s'agit de leurs champs d'application respectifs. En effet, les permis d'émission européens ne sont actuellement pas acceptés par le CORSIA et inversement. En outre, les vols internationaux entre aéroports situés dans la zone économique européenne sont concernés à la fois par le SEQE et par le CORSIA, faisant peser un lourd fardeau sur les compagnies aériennes européennes. Pour cette raison, les parties prenantes du transport aérien européen se sont élevées contre le cumul des deux programmes. Plusieurs associations européennes représentant le secteur aérien, notamment l'Association Internationale du Transport Aérien (en anglais *International Air Transport Association*, IATA) et l'association Airlines for Europe (A4E) ont adressé un courrier à la Commission européenne pour que seul le régime adopté par l'OACI soit en vigueur à partir du 1er janvier 2021. En France, la FNAM (Fédération Nationale de l'Aviation Marchande) souligne que « *les compagnies aériennes européennes seront les seules au monde à devoir appliquer deux systèmes de mesures basées sur le marché* »²³⁷ et rappelle que « *le CORSIA a vocation à se substituer au mécanisme européen EU-ETS* »²³⁸.

²³⁷ FNAM, « *POSITION CORSIA* », 5 septembre 2018.

²³⁸ *Ibid.*

Ainsi, pour que les deux programmes ne se cumulent pas, l'Union européenne devra faire un choix : exclure l'aviation du système ETS et potentiellement prendre le risque de revoir ses ambitions environnementales à la baisse, ou bien s'opposer à l'application du CORSIA aux vols intra-européens.

E) Les carburants alternatifs durables

Tout comme le CORSIA, le développement des carburants alternatifs durables est l'un des leviers portés par l'OACI dans son « panier de mesures » pour réduire les émissions de GES. À la suite de sa 39^e Assemblée en 2016, l'OACI a adopté la résolution A39-2, demandant aux États membres de mettre en place des mesures coordonnées pour accélérer le développement, le déploiement et l'utilisation des carburants alternatifs durables. Cependant, à l'heure actuelle, aucun objectif quantitatif de substitution du kérosène par des carburants durables n'a été fixé au niveau international, par manque de consensus entre les États.

À l'échelle européenne, la directive 2009/28/CE²³⁹, dite « RED » (pour *Renewable Energy Directive*), oblige tous les pays de l'UE à s'assurer qu'au moins 10% de leur énergie de transport provienne de sources renouvelables d'ici 2020. Cependant, cette directive ne s'applique pas aux carburants d'aviation.

À l'échelle nationale, après l'annonce de l'écotaxe sur les billets d'avions par la ministre chargée des transports, le gouvernement travaillerait sur une mesure obligeant les transporteurs aériens à utiliser des biocarburants à l'horizon 2021²⁴⁰.

Cette absence de législation concernant la détermination d'objectifs quantitatifs quant à l'utilisation des carburants alternatifs s'explique en partie par la difficulté que soulève la question de la durabilité d'un carburant. Cette question s'est posée et se pose encore avec l'avènement des biocarburants dits de première génération, produits à partir de sources biologiques (notamment de plantes) et pouvant participer à la réduction des émissions de gaz à effet de

²³⁹ Directive 2009/28/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables.

²⁴⁰ Fabrice Gliszczynski, « Après l'écotaxe sur les billets d'avion, l'autre mesure qui se prépare pour l'aviation », dans La Tribune [En ligne], <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/services/transport-logistique/apres-l-ecotaxe-sur-les-billets-d-avion-l-autre-mesure-qui-se-prepare-pour-l-aviation-823168.html>, (page consultée le 13 juillet 2019).

serre dans le secteur de l'aviation. En effet, ceux-ci présentent de multiples défauts. D'un point de vue économique, ils sont 2 à 4 fois plus chers que les carburants fossiles²⁴¹. En outre, la production de la matière première nécessite des terres arables et de l'eau, ce qui peut soulever le dilemme « nourriture contre carburant ». Enfin, depuis leur production en passant par leur acheminement et jusqu'à leur utilisation finale, les biocarburants présentent, pour la plupart, un bilan carbone qui est loin d'être neutre, rejetant *in fine* parfois plus de dioxyde de carbone que les carburants d'origine fossile. Ainsi, de nouvelles sources de carburants alternatifs sont aujourd'hui préférées, telles que les sources non-biogènes (les déchets ménagers, l'huile de cuisson usagée, les résidus agricoles, etc.). Ces carburants sont dits de deuxième génération.

L'OACI définit la durabilité d'un carburant dans le sens où il ne doit pas entraîner de problèmes de sécurité (et doit donc faire l'objet d'une certification minutieuse) et doit être de type « *drop-in* » (c'est-à-dire qu'il doit être mélangé avec du kérosène classique pour ne pas nécessiter de changements conséquents dans les moteurs ou les infrastructures existantes). Pour l'heure, six procédés de conversion ont été certifiés et plusieurs autres sont en cours d'approbation²⁴². Seuls sept aéroports distribuent de façon régulière des carburants alternatifs dans le monde. De plus, les carburants durables ne doivent pas entrer en compétition avec les cultures alimentaires et les terres arables. Enfin, le critère de la durabilité doit être évalué sur la base du cycle de vie du carburant (ou cycle complet fabrication-utilisation), c'est-à-dire en tenant compte des émissions générées lors de toutes les étapes de production, allant de la matière première à l'utilisation finale dans un moteur.

La définition du critère de durabilité est donc complexe et peine à trouver un consensus parmi les pays, dont certains sont de gros producteurs de carburants de première génération (comme les États-Unis ou la France) et pour lesquels des considérations économiques sont en jeu.

En outre, autre frein au développement des carburants alternatifs, ceux-ci ont généralement un prix élevé comparé au kérosène conventionnel²⁴³. Là encore,

²⁴¹ M. Kousoulidou, L. Lonza, « *Biofuels in aviation : Fuel demand and CO2 emissions evolution in Europe toward 2030* », Transportation Research Part D : Transport and Environment, vol. 46, 2016, p. 166-181.

²⁴² OACI : <https://www.icao.int/>

²⁴³ Tandis que le prix du carburant d'aviation d'origine fossile est de 600 € / tonne, le prix du biocarburant produit à partir d'huile de cuisson usée peut être compris entre 950 et 1 015 € / tonne.

les partenariats public-privé sont une des solutions permettant de réduire les risques économiques liés à leur production et leur déploiement à grande échelle. C'est ce qu'ont mis en place l'Institut Masdar (de l'Université Khalifa), la compagnie aérienne Etihad Airways, le constructeur Boeing et le motoriste et équipementier Safran, en participant à l'élaboration d'un carburant fabriqué à partir d'une plante marine, la salicorne. Cette collaboration fructueuse a d'ailleurs permis de réaliser avec succès un premier vol commercial avec ce biocarburant, le 16 janvier dernier.

Dans tous les cas, le secteur de l'aviation est en passe de devenir un marché considérable pour les carburants alternatifs durables dans les prochaines années²⁴⁴ étant donné qu'il couvre 10% du total de la consommation mondiale en carburant et que le trafic aérien connaît une forte croissance. D'ailleurs, plus de 180 000 vols commerciaux utilisant ce type de carburant ont été effectués à ce jour, contre 150 000 en novembre 2017 (soit une augmentation de 20% en moins de deux ans). Les carburants alternatifs devraient prendre une grande importance dans les prochaines années, mais pas forcément pour des considérations écologiques. En effet, une possible et probable augmentation du prix du baril de pétrole rendra inévitablement rentables les investissements vers les carburants non fossiles. Cependant, il faudra veiller à ce que ces carburants soient durables car, comme le rappelle le STAC, « *ni la question des émissions polluantes secondaires (NO_x, HC, particules...), ni celle de l'impact environnemental (autre que l'effet de serre) de la production d'un biokérosène ne doivent être éludées* »²⁴⁵.

²⁴⁴ D. Chiamonti, M. Prussi, M. Buffi, D. Tacconi, « *Sustainable bio kerosene : Process routes and industrial demonstration activities in aviation biofuels* », Applied Energy, vol. 136, 2014, p. 767-774, p. 767.

²⁴⁵ C. Chkioua, Thèse professionnelle, *Aviation et Climat : "Analyse des moyens d'action publique pour limiter l'impact de l'aviation sur le changement climatique"*, 2009, p.59.

CONCLUSION

Après avoir connu une expansion sans précédent en Europe depuis le milieu du XXe siècle, le transport aérien est désormais concerné par les questions environnementales, à la suite l'accentuation de la prise de conscience de l'impact de l'Homme sur la planète survenue depuis quelques années. En termes de pollution atmosphérique, le transport aérien est responsable de 2% des émissions mondiales de dioxyde de carbone, gaz à effet de serre qui monopolise toutes les attentions puisqu'il fait l'objet de nombreuses mesures destinées à réduire sa concentration dans l'atmosphère. Cependant, d'autres gaz et polluants sont émis par l'aviation, ayant un impact direct ou indirect sur le réchauffement climatique, qu'il ne faut pas négliger. Le transport aérien ne doit pas non plus méconnaître la question de la qualité de l'air qui, au niveau local, se traduit par des décès prématurés, des maladies et par une détérioration de l'environnement de manière générale, due notamment au phénomène des pluies acides. Ces deux enjeux doivent être envisagés par dans approche intégrée, pour que les mesures prises en faveur de la qualité de l'air et de la réduction des gaz à effet de serre ne soient pas contradictoires.

Les leviers normatifs et fiscaux ainsi que les initiatives volontaires prises par les parties prenantes du secteur aéronautique dans le but de réduire l'impact de l'aviation sur l'environnement ne manquent pas. Le CORSIA est un outil très intéressant mais il est complexe à mettre en œuvre à l'échelle internationale — notamment lorsqu'il est cumulé avec d'autres mécanismes, tel que l'EU ETS — et, fonctionnant sur le mécanisme de la compensation, il n'a pas pour but de réduire les émissions de l'aviation en valeur absolue. D'autres solutions sont à l'étude, telles que des améliorations technologiques et organisationnelles ainsi que le développement des énergies renouvelables. Il est donc primordial que les acteurs du transport aérien communiquent et expliquent les efforts entrepris, notamment pour sensibiliser et informer les passagers de l'impact environnemental de chacun de leurs vols.

Cependant, la croissance du trafic aérien ne semble pas connaître de fin et ce dernier double environ tous les quinze ans depuis la fin des années 1970. Face aux enjeux environnementaux actuels, les solutions existantes semblent peu adaptées et l'opinion publique attend désormais un véritable changement de la part du transport aérien pour réduire ses émissions. En outre, le secteur est confronté à des problématiques autres qu'environnementales : celle de la

montée des prix des carburants d'aviation et celle de la saturation du trafic aérien. La première, liée à celle de la fluctuation des prix du baril de pétrole, n'est pas nouvelle. L'exploitation des sources d'énergies fossiles pourrait un jour devenir trop coûteuse ou technologiquement trop complexe, provoquant une augmentation du prix des billets d'avion et un ralentissement du trafic aérien. Conséquence positive, le prix des énergies renouvelables pourrait alors devenir compétitif et les compagnies aériennes auraient alors intérêt à les utiliser, sous réserve que cela soit technologiquement et économiquement viable.

La deuxième problématique risque de freiner le développement du transport aérien pour des raisons opérationnelles, dans la mesure où il est possible que, dans un futur assez proche, la capacité des espaces aériens existants ne puisse plus supporter de vols supplémentaires et ce, malgré les programmes visant à améliorer les performances des systèmes de gestion du trafic aérien, tels que le programme européen SESAR.

Ainsi, le transport aérien pourrait bien être ralenti pour des raisons d'ordre opérationnel et économique, sans nécessairement être freiné réglementairement ou fiscalement par l'instauration de contraintes environnementales. L'utilisation du levier « sobriété », qui consiste notamment à maîtriser la demande de transport et à favoriser le report modal, ou encore la mise en place d'une fiscalité écologique qui n'aggrave pas le poids des prélèvements, pourrait inciter le secteur à évoluer de façon plus durable.

BIBLIOGRAPHIE

I – Ouvrages

F. Charvolin, S. Frioux, L. Kamoun, F. Mélard, I. Roussel, *Un air familial ? Sociohistoire des pollutions atmosphériques*, Presse des mines, Sciences sociales, Paris, 2015.

D. Chiamonti, M. Prussi, M. Buffi, D. Tacconi, *Sustainable bio kerosene: Process routes and industrial demonstration activities in aviation biofuels*, *Applied Energy*, vol. 136, 2014.

C.-M. Gattel, *Dictionnaire universel de la langue française*, Tome 2, 1827.

F. Jarrige et T. Le Roux, *La Contamination du monde : une histoire des pollutions à l'âge industriel*, Le Seuil, 2017.

M. Kousoulidou, L. Lonza, *Biofuels in aviation: Fuel demand and CO2 emissions evolution in Europe toward 2030*, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 46, 2016.

Le grand Larousse illustré, *Dictionnaire de la langue française*, 2019.

II – Études et rapports

ACNUSA, *Particules ultrafines et aviation*, 2017.

ACNUSA, *Guide méthodologique à destination des aéroports pour évaluer leur impact sur la qualité de l'air locale*, 2016.

ACNUSA, *Rapport annuel 2017*.

ACNUSA, *Rapport annuel 2019*.

ADEME, *Bilan national du programme d'actions des aéroports établi par l'ADEME en application du décret n°2016-565 et de l'article 45 de la loi n°2015-992*, 2018.

Agence européenne de la sécurité aérienne, *Rapport « Environnement de l'Aviation Européenne »*, 2019.

Agence Européenne pour l'Environnement, *EU annual GHG inventory report May 2019*.

Agence Européenne pour l'Environnement, *Air quality in Europe — 2018 report*.

BIPE, *Étude sur l'optimisation environnementale du roulage au sol des aéronefs, sur les plateformes aéroportuaires françaises*, 2011.

CITEPA, *Guide méthodologique pour la détermination des émissions dans l'atmosphère d'une zone aéroportuaire à l'exception des aéronefs*, 2013.

CITEPA, *Guide méthodologique pour la détermination des émissions dans l'atmosphère des APU*, 2007.

Commissariat général au développement durable, *Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2017*, octobre 2018.

Cour des comptes européenne, *Pollution de l'air : notre santé n'est toujours pas suffisamment protégée*, 2018.

DTA, *Les émissions gazeuses liées au trafic aérien en France en 2017*.

J.-P. Giblin, *Rapport pour le Conseil général des ponts et chaussées, Maîtrise des émissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile*, mars 2005.

GIEC, *Rapport du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, 2014.

Massachusetts Institute of Technology, *Evaluation of strategies for reducing taxi out emissions at airports*, 2010

Sénat, *Rapport de la commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air*, 2015

STAC, C. Chkioua, *Thèse professionnelle, Aviation et Climat : "Analyse des moyens d'action publique pour limiter l'impact de l'aviation sur le changement climatique"*, 2009,

STAC, *Évaluation de la qualité de l'air autour d'un aéroport*, 2015

STAC, *Rapport d'étude, Intégration de données environnementales dans les études de capacité aéroportuaire*, 2012

STAC, *Le roulage « vert » sur les grandes plates-formes aéroportuaires, Simulations à Paris-Charles de Gaulle*, 2012

STAC, *Guide de calcul des émissions dues aux aéronefs*, 2015

III – Articles

Actualité Aéronautique Francophone, « *La France va mettre en place une écotaxe sur le transport aérien* » : <https://actu-aero.fr/2019/07/09/la-france-va-mettre-en-place-une-ecotaxe-sur-le-transport-aerien/>

Airparif Actualité, « *Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques : vrais liens et fausses idées* », Airparif Actu n°33, octobre 2009.

Airparif Actualité, « *Le carbone suie : enjeu présent et futur* », Airparif Actu n°42, décembre 2014.

L'ECHO touristique, par C. Peltier, « *Le "premier avion supersonique économiquement viable au monde" est bientôt prêt* » : <https://www.lechotouristique.com/article/le-premier-avion-supersonique-economiquement-viable-au-monde-est-bientot-pret>

L'Usine Nouvelle, « *Toulouse veut devenir la capitale française de l'hydrogène* » : <https://www.usinenouvelle.com/article/toulouse-capitale-de-l-hydrogene.N692974>

La Tribune, « *Après l'écotaxe sur les billets d'avion, l'autre mesure qui se prépare pour l'aviation* » : <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/services/transport-logistique/apres-l-ecotaxe-sur-les-billets-d-avion-l-autre-mesure-qui-se-prepare-pour-l-aviation-823168.html>

Le Monde, « *Le gouvernement met en place une écotaxe sur les billets d'avion* » : https://www.lemonde.fr/planete/article/2019/07/09/le-gouvernement-met-en-place-une-ecotaxe-sur-les-billets-d-avion_5487336_3244.html

IV – Sites internet

Aéroports de la Côte d'Azur : <https://societe.nice.aeroport.fr/Le-groupe/DEVELOPPEMENT-DURABLE/Les-Aeroports-de-la-Cote-d-Azur-Carbone-Neutres>

Airparif : <https://www.airparif.asso.fr/pollution/effets-de-la-pollution-effet-serre>

Airport Carbon Accreditation : <https://airportco2.org/>

AtmoSud :

https://www.atmosud.org/monair/prevision?pollutant=field_raster_no2

Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires : <https://www.acnusa.fr/>

Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires :
<https://www.acnusa.fr/fr/le-saviez-vous/les-avions/quest-ce-quun-apu-auxiliary-power-unit/116>

Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique :
<https://www.citepa.org/fr/>

Commission européenne : http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3450_fr.htm

Maritima Medias :
<https://www.maritima.info/actualites/environnement/marignane/10466/l-aeroport-marseille-provence-se-met-au-vert.html>

Ministère de la transition écologique et solidaire : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/aeroports-restrictions-environnementales>

Ministère de la transition écologique et solidaire : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/aviation-respect-des-regles-environnementales>

Ministère de la transition écologique et solidaire : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/label-bas-carbone>

Ministère de la transition écologique et solidaire : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/pollution-lair-origines-situation-et-impacts>

Organisation de l'Aviation Civile Internationale :
<https://www.icao.int/Newsroom/Pages/FR/ICAO-Council-adopts-new-CO2-emissions-standard-for-aircraft.aspx>

Organisation de l'Aviation Civile Internationale :
<https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/state-pairs.aspx>

Organisation de l'Aviation Civile Internationale :
<https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/technology-standards.aspx>

PREV'AIR : <http://www2.prevoir.org/>

Safran : <https://www.safran-aircraft-engines.com/fr/innovation-0>

Wikipédia :
https://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution#D%C3%A9finition_1%C3%A9gale

ANNEXES

ANNEXE 1 : Effets de chaque polluant sur l'environnement et la santé

Polluants	Conséquences sur l'environnement	Effets sur la santé
Oxydes de soufre (SO _x)	<ul style="list-style-type: none"> - Pluies acides - Dégradation des bâtiments - Formation de traînées de condensation en altitude : participation indirect à l'effet de serre 	<ul style="list-style-type: none"> - Irritation des muqueuses - Irritation des voies respiratoires
Oxydes d'azote (NO _x)	<ul style="list-style-type: none"> - Pluie acides - Formation d'ozone - Effet de serre (indirectement) 	<ul style="list-style-type: none"> - Irritation des bronches - Favorise les infections pulmonaires chez les enfants - Augmente la fréquence et la gravité des crises chez les personnes asthmatiques
Ozone (O ₃) (polluant secondaire)	<ul style="list-style-type: none"> - Effet néfaste sur la végétation - Contribue indirectement à l'effet de serre 	<ul style="list-style-type: none"> - Toux - Altération pulmonaire - Irritations oculaires
Particules en suspension < 10µm (PM ₁₀)	<ul style="list-style-type: none"> - Salissures des bâtiments - Retombées sur les cultures - Effet de serre (indirectement) 	<ul style="list-style-type: none"> - Altération de la fonction respiratoire - Propriétés mutagènes et cancérogènes
Dioxyde de carbone (CO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> - Effet de serre - Acidification des océans - Erosion des façades calcaires 	<ul style="list-style-type: none"> - Aucun (dans les concentrations atmosphériques actuelles)
Monoxyde de carbone (CO)	<ul style="list-style-type: none"> - Formation d'ozone - Effet de serre (indirectement) 	<ul style="list-style-type: none"> - Nausées, vomissements - Bloque l'oxygénation de l'organisme : coma, décès
Composés Organiques Volatiles (COV)	<ul style="list-style-type: none"> - Formation d'ozone et gaz à effet de serre (indirect) 	<ul style="list-style-type: none"> - Irritations et diminution de la capacité respiratoire - Certains composés sont considérés comme cancérogènes

ANNEXE 2 : Tableau récapitulatif des activités polluantes sur un aéroport et des polluants émis

Les gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O, HFC) sont indiqués en gras.

Les aéronefs

Les activités journalières	<ul style="list-style-type: none"> Le roulage Le décollage La montée L'approche L'atterrissage Les moteurs auxiliaires de puissance (APU) 	NO _x , CO, HC, SO _x , particules, CO₂
	<ul style="list-style-type: none"> L'avitaillement 	COVNM
Les activités ponctuelles	<ul style="list-style-type: none"> L'antigivrage Le dégivrage des aéronefs La peinture des aéronefs Le nettoyage extérieur des aéronefs La maintenance des aéronefs 	COVNM

Les sources fixes

Les activités continues	<ul style="list-style-type: none"> Le stockage de carburant Les stations-service 	COVNM
	<ul style="list-style-type: none"> Les centrales d'énergie 	COVNM, NO _x , CO, SO ₂ , HAP, particules, métaux lourds, CO₂ , CH₄ , N₂O
Les activités ponctuelles	<ul style="list-style-type: none"> Les groupes électrogènes 	COVNM, NO _x , CO, SO ₂ , HAP, particules, métaux lourds, CO₂ , CH₄ , N₂O
	<ul style="list-style-type: none"> Les bandes dégagées et les sources biogéniques (végétation et espaces verts) 	COVNM, NH ₃ , NO _x , particules, N₂O
	<ul style="list-style-type: none"> Les postes fixes à incendie 	HFC
	<ul style="list-style-type: none"> Le déverglacement sur l'aire de mouvement La maintenance, le nettoyage, la peinture des véhicules et des bâtiments 	COVNM

Les sources mobiles

Les activités journalières	<ul style="list-style-type: none"> Le trafic routier extérieur à la plateforme Le fret Les véhicules de service 	COVNM, NH ₃ , NO _x , CO, SO ₂ , HAP, particules, métaux lourds, CO₂ , CH₄ , N₂O
	<ul style="list-style-type: none"> Les engins spéciaux utilisés sur les zones aéroportuaires Le GPU 	COVNM, NO _x , CO, SO ₂ , HAP, particules, métaux lourds, CO₂ , CH₄ , N₂O
Les activités ponctuelles	<ul style="list-style-type: none"> Les engins spéciaux utilisés dans l'agriculture et l'entretien des espaces verts et des cultures 	COVNM, NO _x , CO, SO ₂ , HAP, particules, métaux lourds, CO₂ , CH₄ , N₂O
	<ul style="list-style-type: none"> Les engins spéciaux utilisés dans l'industrie 	COVNM, NO _x , CO, SO ₂ , HAP, particules, CO₂ , CH₄ , N₂O
	<ul style="list-style-type: none"> La maintenance des véhicules Le nettoyage des véhicules La peinture des véhicules 	COVNM

ANNEXE 3 : Tableau des normes de qualité de l'air

OMS / UE / FR = origines des valeurs

DIOXYDE d'AZOTE (NO ₂)		
Objectif de qualité	40 µg/m ³ (FR)	en moyenne annuelle
Valeurs limites pour la protection de la santé humaine	200 µg/m ³ (UE)	en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18 heures par an
	40 µg/m ³ (UE)	en moyenne annuelle
Niveau critique pour la protection de la végétation (NO _x)	30 µg/m ³ (UE)	en moyenne annuelle d'oxydes d'azote
Seuil d'information et de recommandation	200 µg/m ³ (FR)	en moyenne horaire
Seuils d'alerte	400 µg/m ³ (UE)	moyenne horaire pendant 3 heures consécutives
		ou si 200 µg/m ³ en moyenne horaire à J-1 et à J et prévision de 200 µg/m ³ à J+1 (FR)

OXYDES D'AZOTE (NO _x)		
Niveau critique pour la protection de la végétation	30 µg eq NO ₂ .m ⁻³	en moyenne annuelle

PARTICULES (PM ₁₀)		
Objectif de qualité	30 µg/m ³ (FR)	en moyenne annuelle
Valeurs limites pour la protection de la santé humaine	50 µg/m ³ (UE)	en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours par an
	40 µg/m ³ (UE)	en moyenne annuelle
Seuil d'information et de recommandation	50 µg/m ³ (FR)	en moyenne sur 24 heures
Seuil d'alerte	80 µg/m ³ (FR)	en moyenne sur 24 heures

PARTICULES (PM _{2,5})		
Objectif de qualité	10 µg/m ³ (FR)	en moyenne annuelle
Valeur cible pour la protection de la santé humaine	20 µg/m ³ (FR)	en moyenne annuelle
Valeur limite 2015 pour la protection de la santé humaine	25 µg/m ³ (UE)	en moyenne annuelle

DIOXYDE de SOUFRE (SO₂)		
Objectif de qualité	50 µg/m ³ (FR)	en moyenne annuelle
Valeurs limites pour la protection de la santé humaine	350 µg/m ³ (UE)	en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 24 heures par an
	125 µg/m ³ (UE)	en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 jours par an
Niveau critique pour la protection des écosystèmes	20 µg/m ³ (UE)	en moyenne annuelle et en moyenne sur la période du 1er octobre au 31 mars
Seuil d'information et de recommandation	300 µg/m ³	en moyenne horaire
Seuil d'alerte	500 µg/m ³	en moyenne horaire pendant 3 heures consécutives

OZONE (O₃)		
Objectif de qualité pour la protection de la santé humaine	120 µg/m ³	pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures par an
Objectif de qualité pour la protection de la végétation	6 000 µg/m ³ .h.	en AOT40, calculée à partir des valeurs sur 1 heure de mai à juillet entre 8h et 20h
Valeur cible pour la protection de la santé humaine	120 µg/m ³	maximum journalier de la moyenne sur 8 heures à ne pas dépasser plus de 25 jours par an (en moyenne sur 3 ans)
Valeur cible pour la protection de la végétation	18 000 µg/m ³ .h. (UE)	en AOT40, calculée à partir des valeurs sur 1 heure de mai à juillet entre 8h et 20h (en moyenne sur 5 ans)
Seuil d'information et de recommandation	180 µg/m ³	en moyenne horaire
Seuil d'alerte pour une protection sanitaire pour toute la population	240 µg/m ³	en moyenne horaire
Seuils d'alerte nécessitant la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence	1 ^{er} seuil : 240 µg/m ³	moyenne horaire pendant 3 heures consécutives
	2 ^{ème} seuil : 300 µg/m ³	moyenne horaire pendant 3 heures consécutives
	3 ^{ème} seuil : 360 µg/m ³	en moyenne horaire

MONOXYDE de CARBONE (CO)		
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	10 mg/m ³ soit 10 000 µg/m ³ (FR)	pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures

BENZÈNE (C₆H₆)		
Objectif de qualité	2 µg/m ³ (FR)	en moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	5 µg/m ³ (UE)	en moyenne annuelle

MÉTAUX LOURDS			
Objectif de qualité	Plomb (Pb)	0.25 µg/m ³ (FR)	en moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la santé humaine		0,5 µg/m ³ (UE)	
Valeur cible à compter de 2013	Arsenic (As)	6 ng/m ³ (UE)	en moyenne annuelle du contenu total de la fraction PM ₁₀
	Cadmium (Cd)	5 ng/m ³ (UE)	
	Nickel (Ni)	20 ng/m ³ (UE)	

BENZO(A)PYRÈNE (B[A]P)		
Valeur cible à compter de 2013	1 ng/m ³ (UE)	en moyenne annuelle du contenu total de la fraction PM ₁₀

Définitions des normes Qualité de l'Air

Objectif de qualité : un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère à atteindre à long terme, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble;

Valeur cible : un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble, à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné ;

Valeur limite : un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixé sur la base des connaissances scientifiques à ne pas dépasser dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble;

Seuil d'information et de recommandation : un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles de la population rendant nécessaires des informations immédiates et adéquates;

Seuil d'alerte : un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	3
SOMMAIRE.....	4
TABLE DES ABRÉVIATIONS.....	5
INTRODUCTION	8
<u>PARTIE I : LA PERTINENCE D'ÉVALUER L'IMPACT DU TRANSPORT AÉRIEN PAR UNE APPROCHE INTÉGRÉE DES PHÉNOMÈNES DE POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE.....</u>	14
CHAPITRE 1 : LA DÉFINITION DES DIFFÉRENTS PHÉNOMÈNES DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE : ENTRE CONFUSION ET DESACCORD	
Section 1 – L'absence de consensus sur la définition de pollution atmosphérique	15
A) Pollution : brève définition.....	15
B) Pollution atmosphérique : une définition problématique	16
1) L'absence de définition uniforme à l'échelle internationale	17
2) La définition légale : une conception extensive	18
3) La position de la doctrine : une conception restrictive et confuse	18
4) Le choix de la conception extensive	20
Section 2 – Les différents phénomènes de la pollution atmosphérique et leurs conséquences	21
A) Les échelles locale, régionale et planétaire.....	21
B) Les différents phénomènes de la pollution atmosphérique	23
1) L'acidification et l'eutrophisation	23
2) L'effet de serre	23
3) La pollution photochimique	25
4) La dégradation de la qualité de l'air.....	26
C) Les multiples impacts de la pollution atmosphérique	27
1) Impact sur les écosystèmes	27
2) Impact sur le bâti	28
3) Impact sur la santé	29
4) Impact économique.....	31
CHAPITRE 2 : LA NECESSAIRE EVALUATION DES EMISSIONS DU TRANSPORT AERIEN DANS LEUR GLOBALITE	
	33

Section 1 – L’inventaire des émissions générées par le transport aérien.....	33
A) La pollution atmosphérique émise par les aéronefs	35
1) Les émissions au-dessus de 3000 pieds de hauteur	37
2) Les émissions en-dessous de 3000 pieds de hauteur	38
B) La pollution atmosphérique due aux activités aéroportuaires	39
1) Le moteur auxiliaire de puissance (APU).....	40
2) Les activités nécessaires au fonctionnement des aéronefs	40
C) La pollution atmosphérique due au trafic routier extérieur induit par la plate-forme aéroportuaire	41
Section 2 – La contribution du transport aérien aux phénomènes de pollution atmosphérique.....	42
A) Les émissions de gaz à effet de serre.....	42
B) Les émissions de polluants de l’air local	44

**PARTIE II – LES EFFORTS DE REDUCTION DU TRANSPORT AERIEN :
INSUFFISANTS OU MAL CONNUS ?..... 49**

CHAPITRE 1 : UN CADRE REGLEMENTAIRE FOISONNANT ET HETEROGENE	50
Section 1 – Des instruments normatifs de réduction des émissions reposant sur des seuils d’émissions	50
A) Le cadre international.....	51
1) Les traités internationaux.....	51
2) Les institutions internationales	53
B) Le cadre européen.....	55
C) Le cadre national.....	58
1) Le rôle de la DGAC.....	58
2) Le dispositif légal	58
Section 2 – Surveillance et restriction environnementale autour d’un aéroport 61	
A) La pluralité des organismes de surveillance et de mesure	61
1) Le LCSQA et le réseau des AASQA	61
2) La DREAL.....	62
3) L’ADEME	62
4) Le CITEPA.....	63
5) L’ACNUSA.....	63
B) La multiplication des outils de planification	64
CHAPITRE 2 : DES SOLUTIONS EMERGENTES TIMIDES ET PEU CONNUES	66
Section 1 – Les mesures propres aux plates-formes aéroportuaires.....	66
A) Les mesures de réduction des émissions prises par les exploitants d’aéroport (ou les sous-traitants).....	67

1) La réduction de l'impact de l'infrastructure aéroportuaire	67
2) L'ACA : un programme d'actions volontaire	68
3) La diminution du temps de roulage.....	69
4) Les moyens de substitution à l'APU	72
5) Substitution et complémentarité modale.....	74
B) Les mesures de réduction des émissions mesures prises par les pouvoirs publics.....	75
1) Les arrêtés de restriction	75
2) Le levier fiscal	76
Section 2 - Les mesures propres aux transporteurs aériens.....	77
A) La certification des moteurs par l'OACI.....	78
B) Les progrès technologiques et le renouvellement de flotte	79
C) Le levier fiscal.....	80
D) Le programme CORSIA et le système ETS	81
E) Les carburants alternatifs durables	84
<u>CONCLUSION.....</u>	<u>87</u>
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	<u>89</u>
<u>ANNEXES.....</u>	<u>93</u>
ANNEXE 1 : EFFETS DE CHAQUE POLLUANT SUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTE	94
ANNEXE 2 : TABLEAU RECAPITULATIF DES ACTIVITES POLLUANTES SUR UN AEROPORT ET DES POLLUANTS EMIS	95
ANNEXE 3 : TABLEAU DES NORMES DE QUALITE DE L'AIR	96
<u>TABLE DES MATIÈRES</u>	<u>99</u>