

Direction
générale de
l'Aviation civile

Service
technique de
l'Aviation civile

Mai 2015

Guide de calcul des émissions dues aux aéronefs

Guide technique



Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

www.stac.aviation-civile.gouv.fr



STAC

Direction
générale de
l'Aviation civile

Service
technique de
l'Aviation civile

Mai 2015

Guide de calcul des émissions dues aux aéronefs

Guide technique

Service technique de l'aviation civile
Département Aménagement, Capacité, Environnement

v1. 12/05/2015

Résumé

Ce guide présente une méthodologie générale pour le calcul des émissions atmosphériques dues aux aéronefs sur et autour d'un aéroport. Il peut être utilisé par les gestionnaires d'aéroports et services de la DGAC pour les aider à accomplir ou engager une démarche environnementale appliquée au domaine de la qualité de l'air, notamment dans le cadre d'inventaire d'émission.

Mots-clés

Émission atmosphérique, aéroport, cycle LTO, aéronef.

Summary

This guide provides a general methodology for the calculation of atmospheric emissions from aircraft on and around an airport. It can be used by airport manager and services of the french civil aviation authority (DGAC), and can help them to improve or engage an environmental approach (such as emission inventory).

Keywords

Atmospheric emissions, airport, LTO, aircraft, local air quality.

Sommaire

1. Réglementation en vigueur	7
2. Définition et objectifs d'un inventaire d'émission	9
2.1. Généralités	9
2.2. Définition du cadre d'étude	10
2.2.1. L'aire d'étude : Le cycle LTO	11
2.2.2. Les polluants étudiés	11
2.2.3. La période d'étude	13
2.2.4. Précision de l'étude : Les données de trafic	13
3. Quantification des émissions atmosphériques selon deux méthodes	17
3.1. Bases de données des facteurs d'émission	17
3.2. Données de consommation de carburant	19
3.3. 1 ^{re} Méthode : Ordre de grandeur des émissions de polluants	19
3.4. 2 ^{de} Méthode : Détermination à partir des consommations moyenne de carburant par type avion	20
3.5. Cas des particules PM	21
4. Annexes	22

Avant-Propos

Ce guide présente une méthodologie générale pour le calcul des émissions atmosphériques dues aux aéronefs sur et autour d'un aéroport. Il peut être utilisé par les gestionnaires d'aéroports et services de la DGAC pour les aider à accomplir ou engager une démarche environnementale appliquée au domaine de la qualité de l'air, notamment dans le cadre d'inventaire d'émission.

Un inventaire d'émission permet, grâce à des logiciels adaptés (logiciel de calcul de la dispersion), de connaître l'état de pollution atmosphérique en tout point d'un territoire donné, mais également de répondre à la réglementation en vigueur auquel il est soumis, dont les outils de planification du territoire (PPA, SRCAE, etc....).

1. Réglementation en vigueur

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, quelle que soit la zone géographique considérée.

Les inventaires d'émission permettent de répondre à de nombreux besoins, qu'ils soient internationaux, ou à échelle plus locale. La France décline à l'échelle nationale les engagements internationaux qu'elle a ratifiés (par exemple, le protocole de Kyoto du 11 décembre 1997), ces exigences se déclinent en général ensuite au niveau des régions, des départements ou des agglomérations, et ce à travers différents modes d'action.

Une liste non exhaustive du cadre réglementaire à chaque échelle est détaillée ci-dessous.

Échelle internationale :

- ▶ Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CPATLD) du 17 novembre 1979
- ▶ Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) du 9 mai 1992
- ▶ Protocole de Kyoto du 11 décembre 1997 visant à la réduction de gaz à effet de serre
- ▶ Convention de Stockholm du 22 mai 2001 sur les polluants organiques persistants
- ▶ Lignes directrices de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), mise à jour mondiale en 2005, relative à la qualité de l'air : particules, ozone, oxyde d'azote et dioxyde de soufre
- ▶ Annexe 16 de la Convention relative à l'aviation civile international – Volume II Émissions des moteurs d'aviation, 3^e édition, datant de juillet 2008

Échelle européenne :

- ▶ Directive n° 2001/81/CE fixant des plafonds d'émission nationaux pour certains polluants atmosphériques, dite directive NEC (National Emission Ceilings) du 23 octobre 2001
- ▶ Système Communautaire d'Échange de Quotas d'Émission (SCEQE ou EU-ETS pour European Union Emission Trading Scheme) introduit par la directive européenne 2003/87/CE du 13 octobre 2003
- ▶ Directive n° 2004/107/CE du Parlement européen et du Conseil concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures polycycliques dans l'air ambiant du 15 décembre 2004
- ▶ Directive n° 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe du 21 mai 2008

Échelle nationale :

- ▶ Loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 dite loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie (LAURE)
- ▶ Plan National Santé-Environnement (PNSE), institué par l'article L1311-6 du code de la santé publique (loi du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique)
- ▶ Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 dite loi Grenelle de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement
- ▶ Loi Grenelle II n° 2010-788 portant engagement national pour l'environnement du 12 juillet 2010
- ▶ Arrêté du 27 juillet 2012 réglementant l'utilisation des moyens permettant aux aéronefs de s'alimenter en énergie et climatisation-chauffage lors d'une escale sur les aérodromes de Paris - Charles-de-Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget
- ▶ Arrêté du 26 mars 2014 relatif au déclenchement de procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant

Échelle régionale :

- ▶ Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie (SRCAE)¹ institué par le décret n° 2011-678 relatif aux schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie du 16 juin 2011
- ▶ Plan Régional Santé Environnement (PRSE), déclinaison du PNSE à l'échelle régionale, institué par la loi du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique et intégré dans le code de santé publique par l'article L1311-6

Échelle locale :

- ▶ Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA), dont le dispositif est régi par les articles allant de L222-4 à L222-7 et de R222-13 à R222-36 du Code de l'Environnement

Les exigences réglementaires en matière de qualité de l'air sont très nombreuses. En revanche, le nombre de textes qui lient le domaine de l'aviation à celui de la qualité de l'air, est très réduit bien qu'il tende à s'accroître.

En effet, la qualité de l'air liée au domaine de l'aviation est une matière émergente, dont les préoccupations sont très récentes. Contrairement au bruit, les contraintes réglementaires et le cadre méthodologique ne sont pas encore établis. Il existe toutefois quelques documents qui définissent un cadre réglementaire pour fixer des limites, comme l'Annexe 16 – Volume II de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale² (OACI) pour les réacteurs d'une poussée nominale au décollage supérieure à 26,7 kN.

¹ *Se substitue au Plan Régional de la Qualité de l'Air (PRQA).*

² *Institution spécialisée des Nations-Unies, l'OACI a pour but d'établir des normes et pratiques recommandées internationales dans le domaine de l'aviation civile. Les États peuvent s'appuyer sur ces dernières pour ensuite les développer au sein de leur propre réglementation.*

2. Définition et objectifs d'un inventaire d'émission

2.1. Généralités

Selon l'arrêté du 29 décembre 2006 relatif au système national d'inventaires des émissions de polluants atmosphériques, « [c] e système permet à la France d'estimer des émissions des principaux polluants atmosphériques par les différents secteurs d'activité, et en particulier les émissions anthropiques de gaz à effet de serre par les sources [...] en application du protocole de Kyoto à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques ».

L'inventaire revêt un caractère obligatoire dans certains cas qui sont précisés par l'article L229-25 du Code de l'Environnement (article 75 de la loi Grenelle II). Notamment « *l'État, les régions, les départements, les métropoles, les communautés urbaines, les communautés d'agglomération et les communes ou communautés de communes de plus de 50 000 habitants ainsi que les autres personnes morales de droit public employant plus de deux cent cinquante personnes* » sont tenus d'établir un bilan de leurs émissions des gaz à effet de serre.

Outre cet aspect réglementaire, un inventaire d'émission est un outil utile pour la gestion de la qualité de l'air et de son impact (sur l'environnement, la santé ou l'économie) et pour l'information du public³.

Toutefois, les inventaires d'émission ne permettent pas d'estimer directement les concentrations de polluants dans l'air, et donc la qualité de l'air environnant. En effet, ces concentrations dépendent non seulement de l'intensité des émissions mais également des conditions physiques de dispersion et des transformations chimiques que subissent les polluants dans l'atmosphère.

Les modèles de dispersion et les modèles de transformations chimiques peuvent permettre de passer des inventaires d'émission à la notion de qualité de l'air puisqu'ils sont en général validés et améliorés par les mesures dans l'air ambiant. Ces mesures sont réalisées par les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA), associations chargées par l'État français de veiller au bon respect des limites de concentrations fixées par la réglementation.

Définition d'un inventaire d'émission

Selon le guide méthodologique pour l'élaboration des inventaires territoriaux des émissions atmosphériques du Pôle National de Coordination des Inventaires Territoriaux⁴ (PCIT), « *la réalisation d'un inventaire des émissions peut s'appuyer sur le calcul théorique des flux de polluants émis dans l'atmosphère. Il s'agit du produit de l'activité [...] et des facteurs d'émissions* ».

Les facteurs d'émission étant des valeurs établies (données issues de modélisation ou d'expériences météorologiques), il est donc nécessaire de déterminer correctement les activités pour élaborer un inventaire d'émission en définissant au préalable un **cadre d'étude**. Ce cadre d'étude s'appuie sur le choix de l'aire d'étude, sur celui des espèces polluantes, de la période d'étude et enfin de la précision de l'étude (i.e. le choix sur les données de trafic).

³ L'information au public est appuyée par la Convention du 25 juin 1998 sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement, dite convention d'Aarhus.

⁴ http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guide_Methodo_PCIT_V_finale_2colonnes.pdf

2.2. Définition du cadre d'étude

Dans ce guide et conformément à l'Annexe 16 – Volume II « Protection de l'environnement - Émissions des moteurs d'avion » de l'OACI⁵, **seuls les avions sont pris en compte** (les hélicoptères ne sont donc pas traités). Par ailleurs, **ne sont pas considérées les phases de fin de montée, croisière et descente, i.e. se situant au-dessus de 3 000 pieds sol** (environ 915 mètres), puisque ce sont les émissions en dessous de 3 000 pieds qui ont un impact direct sur la qualité de l'air locale.

Quel que soit le type de moteurs d'avions (réacteurs, turbopropulseurs, moteurs à pistons), des polluants sont émis lors des différentes opérations effectuées sur et autour de l'aéroport. Toutefois, **ce guide s'attachera uniquement aux moteurs destinés à la propulsion, i.e. les moteurs soumis à la certification**, dont les normes sont définies dans l'Annexe 16 – Volume II. Les groupes auxiliaires de puissance (GAP ou APU pour *Auxiliary Power Unit*) ne seront donc pas pris en compte.

Afin de rendre compte de la totalité des émissions produites sur un aéroport, en plus des émissions des aéronefs, il est possible de se reporter au « Guide méthodologique pour la détermination des émissions dans l'atmosphère d'une zone aéroportuaire à l'exception des aéronefs », rédigé par le CITEPA⁶, qui permet d'évaluer les émissions dues aux sources aéroportuaires autres que celles dues aux aéronefs. Le guide du CITEPA prend en compte les services liés à l'exploitation au contact des avions (entretien technique, dégivrage, transport des bagages,...), les services liés à l'exploitation des pistes et des abords (espaces verts, cultures, etc.), le trafic routier, ferroviaire, etc.

Par ailleurs, il existe d'autres guides en matière de calcul d'émissions consacrés au trafic aérien et aux aéroports, qui permettent d'améliorer l'exhaustivité de l'inventaire d'émissions. Certains sont cités en fin de document.

⁵ Cette annexe sert de base à la certification des moteurs d'aéronefs en ce qui concerne la pollution atmosphérique; elle contient les procédures d'essais et de mesure et fixe les normes limitant les émissions de fumées, d'hydrocarbures, d'oxydes d'azote et de monoxyde de carbone.

⁶ CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique – Mars 2013 - Réf.CITEPA958
Pour les APU, le CITEPA a rédigé le « Guide méthodologique pour la détermination des émissions dans l'atmosphère des APU », juillet 2007, Réf.630

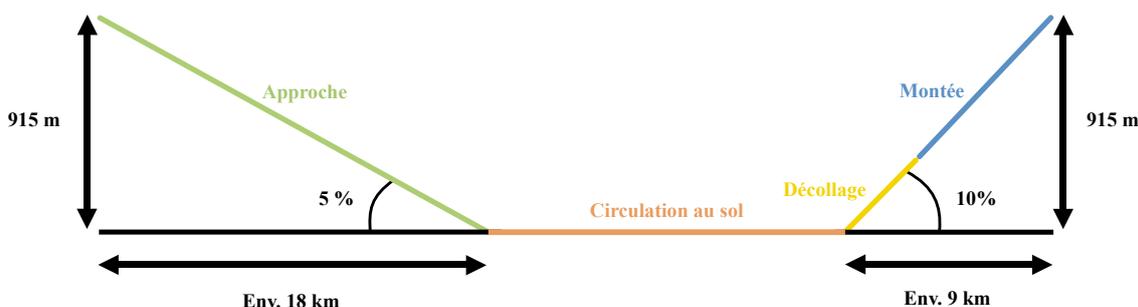
http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guide_CITEPA_2013.pdf

2.2.1. L'aire d'étude: le cycle LTO

La certification des émissions des moteurs s'appuie sur le cycle « Atterrissage – Décollage » (CAD ou LTO pour « *Landing - Take-Off* ») défini dans l'annexe 16 - Volume II de l'OACI. Ce cycle décompose les différentes opérations de l'aéronef sur et autour de l'aéroport en quatre phases : approche, circulation au sol, décollage, montée. Ce cycle théorique constitue la base de l'aire d'étude.

Le cycle « Atterrissage – Décollage » inclut l'ensemble des opérations de l'avion, du sol jusqu'à une hauteur de 3 000 pieds (environ 915 m). Cette hauteur correspond à celle de la couche limite, qui est directement affectée par les phénomènes se produisant en surface à l'échelle locale tels que la pollution, les cycles thermiques diurnes, les vents locaux, etc.

Les distances au niveau du sol peuvent être estimées à partir de pentes moyennes à l'atterrissage et au décollage, et sont représentées par la figure ci-dessous :



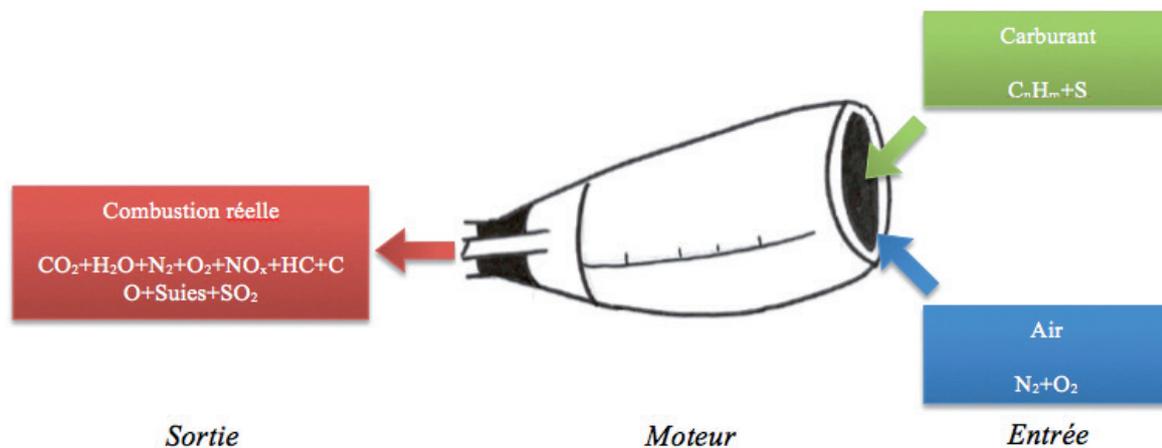
2.2.2. Les polluants étudiés

Au niveau local, le choix des polluants dépend du type d'étude souhaité. En effet, dans le cas d'un inventaire qui ne fournit que des bilans de masses, à l'instar des SRCAE, l'ensemble des polluants atmosphériques peut être pris en compte. En revanche, dans le cas d'études d'impact, certains polluants sont à privilégier, comme les oxydes d'azote et les hydrocarbures (étudiés dans le cadre de la formation d'ozone (pollution photochimique) et le dioxyde de soufre (étudié dans le cadre de l'acidification de l'atmosphère). Ces documents peuvent nécessiter une étude plus poussée notamment lorsque les polluants ont un impact significatif dans le domaine de la santé, de l'environnement, etc.

La réglementation peut également conditionner le choix des polluants étudiés. Le Code de l'Environnement demande que des seuils de concentrations soient respectés pour des espèces telles que le dioxyde d'azote, les particules en suspension dont le diamètre est inférieur à 10 μm et celles inférieures à 2,5 μm , le dioxyde de soufre, etc. Le protocole de Kyoto s'attache quant à lui aux six gaz à effet de serre suivants : le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), l'oxyde nitreux (N_2O), l'hydrofluorocarbure (HFC), l'hydrocarbure perfluoré (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF_6).

Il est donc nécessaire de se référer à la réglementation appliquée sur l'étendue du domaine étudié.

Dans le domaine de l'aviation, les aéronefs génèrent des polluants lors de la combustion de carburant, via les moteurs. Dans les conditions idéales d'une combustion, seuls sont émis du dioxyde de carbone (CO_2), de l'eau (H_2O), du diazote (N_2), du dioxygène (O_2) et du dioxyde de soufre (SO_2). La combustion dans le moteur n'étant, en réalité, pas une combustion parfaite, d'autres produits de combustion sont formés et engendrent une pollution supplémentaire. Il s'agit des oxydes d'azote ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2^7$), des hydrocarbures imbrûlés (HC), du monoxyde de carbone (CO), des carbones suies et du dioxyde de soufre (SO_2).



Le nombre de polluants à considérer peut être réduit lors de l'élaboration de l'inventaire. Puisque l'ozone est le résultat de réactions chimiques entre plusieurs polluants (c'est un polluant dit secondaire), il ne figurera pas dans l'inventaire, tout comme le plomb, qui lui, est plutôt lié au trafic routier. Par ailleurs, ne seront pas traités les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) dont les émissions sont actuellement mal connues.

En revanche, pour ce qui concerne les particules en suspension (ici PM10), de nombreux travaux sont en cours pour développer les connaissances afin de mieux les quantifier. L'un des groupes de travail du CAEP⁸, le PMTG⁹, travaille sur la certification des moteurs pour les PM (PM10 voire PM2.5).

⁷ La formule chimique du monoxyde d'azote est NO, et celle du dioxyde d'azote est NO_2 . Ces deux espèces peuvent s'intervertir rapidement par l'intermédiaire de la photolyse de NO_2 , sous l'action du rayonnement solaire et de la réaction de NO avec l'ozone. L'intervention rapide entre ces deux espèces, fait que l'on regroupe généralement NO et NO_2 sous la forme NO_x .

⁸ Comité de la Protection de l'Environnement en Aviation (CAEP), créé par le Conseil de l'OACI. L'OACI définit ainsi le CAEP: « Les activités actuelles de l'OACI en matière d'environnement sont dans une grande mesure menées par le Comité de la protection de l'environnement en aviation (CAEP), établi par le Conseil en 1983 en remplacement du Comité sur le bruit des aéronefs (CAN) et du Comité sur les émissions des moteurs d'aviation (CAEE). 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'aéronefs. » http://www.icao.int/ENVIRONMENTAL-PROTECTION/Pages/FR/CAEP_FR.aspx

⁹ Le CAEP comporte quatre groupes de soutien et trois groupes de travail. Dans l'un de ces groupes de travail, intitulé WG3 (Emissions Technical Issues) traite des questions techniques de performances des aéronefs et des émissions, y compris la mise à jour de l'Annexe 16, et de l'élaboration d'une norme de CO_2 des avions. Le PMTG (Particulate Matter Tasking Group), sous-groupe du WG3, travaille actuellement à l'établissement de normes pour les particules non volatiles des réacteurs de plus de 26.7 kN.

Le kérosène ne contient pas de métaux lourds, ou à l'état de faibles traces. Ceux-ci ne seront donc pas inclus dans ce guide.

Compte tenu des différentes raisons énoncées au paragraphe précédent, le présent guide prend en compte uniquement les polluants suivants¹⁰ :

les oxydes d'azote (NO_x), le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures imbrûlés (HC) et le dioxyde de soufre (SO₂).

L'annexe 16 – Volume II de l'OACI définit des normes pour les émissions d'hydrocarbures imbrûlés, d'oxydes d'azote et de monoxyde de carbone, pour les réacteurs d'une poussée nominale au décollage supérieure à 26,7 kN.

2.2.3. La période d'étude

La plupart des documents réglementaires, tels que ceux cités au chapitre « Réglementation en vigueur » considèrent l'année comme base de temps. Cependant, certaines études distinguent les variations saisonnières et nécessitent de ce fait, des bases de temps plus courtes (trimestrielles, mensuelles...).

Les études d'impact considérant les variations diurnes nécessitent des calculs d'émissions sur des périodes assez courtes (jour/nuit, heure). Selon le degré de précision des données d'entrée des modèles de dispersion, les périodes peuvent être davantage réduites.

2.2.4. Précision de l'étude : les données de trafic

Le niveau de précision des données est conditionné par les objectifs de l'étude. À titre d'exemple, dans le cadre des SRCAE, pour lesquels les inventaires fournissent des résultats en termes de masses de polluants sur une année, le trafic aérien d'un aéroport pourra être divisé en quelques catégories d'aéronefs. Dans le cadre d'une modélisation, qui nécessite de connaître les émissions toutes les heures, les données détaillées des vols ainsi que les heures d'arrivée et de départ devront être disponibles.

Il en est de même pour les opérations. Si la connaissance du nombre de mouvements est suffisante pour des documents régionaux, dans le cas d'études plus détaillées, il peut être nécessaire de connaître les durées de chaque phase et les distances parcourues au sol.

Les données de trafic doivent être suffisamment complètes pour faciliter les calculs et être les plus représentatives et exhaustives possibles. Ces données peuvent être demandées auprès de la Direction Générale de l'Aviation Civile, des aéroports et aérodromes, de l'Union des Aéroports Français (UAF) ou de tout autre service disposant des statistiques relatives au trafic.

Par ailleurs, elles peuvent être classées en deux catégories : celles concernant les aéronefs et celles concernant les opérations. Il est nécessaire que ces données couvrent la période de l'étude choisie.

2.2.4.1. Données relatives aux aéronefs

Afin de connaître les émissions produites par les aéronefs, il existe quatre niveaux d'études concernant les données relatives aux aéronefs.

Le premier niveau consiste à lister tous les types d'aéronefs. Le classement est très simple, ce sont les données brutes dans un journal des mouvements.

Le deuxième niveau liste les types d'aéronefs en précisant la classe des aéronefs selon les catégories de trafic (qu'il soit domestique, international, commercial ou général).

Le niveau 3 ajoute un niveau supplémentaire de précision en classant les aéronefs selon leur immatriculation.

¹⁰ Il peut être noté que le CO₂ n'est pas pris en compte. Il s'agit en effet d'un gaz à effet de serre, et non d'un polluant. AIRPARIF, AASQA de la région Ile-de-France en donne la définition suivante : « Contrairement aux polluants atmosphériques, les gaz à effet de serre (GES) n'ont pas d'effet local sur la santé mais sur le climat à l'échelle de toute la planète ». Plus d'informations sur : <http://www.airparif.asso.fr/pollution/effets-de-la-pollution-effet-serre>

Enfin, le quatrième niveau attribue à chaque immatriculation, un moteur. Il est donc de ce fait, le plus haut niveau de précision. La plupart des bases de données sont de niveau 4, voire 3.

Le tableau suivant permet de résumer les quatre niveaux de classement des aéronefs :

AÉRONEFS	
Niveau 1	Liste des types d'aéronefs
Niveau 2	Liste des types d'aéronefs Classification des aéronefs dans des catégories de trafic (domestique/international ; commercial/général)
Niveau 3	Liste des immatriculations des aéronefs Classification des aéronefs dans des catégories de trafic (domestique/international ; commercial/général)
Niveau 4	Liste des immatriculations des aéronefs Attribution des moteurs pour chaque immatriculation Classification des aéronefs dans des catégories de trafic (domestique/international ; commercial/général)

Ce guide propose ci-dessous une liste non exhaustive d'outils qui permettent d'identifier les moteurs équipant les aéronefs du trafic étudié (niveau 4).

► **JP Airline Fleets International**¹¹

Publié par BUCHair (USA) Inc., ce document répertorie une liste importante d'aéronefs incluant les immatriculations, les types d'aéronefs, noms de constructeurs, moteurs, etc. Ces données sont accessibles par l'acquisition d'une licence et sont mises à jour mensuellement, trimestriellement ou annuellement (selon le forfait choisi).

► **International Register of Civil Aviation (IRCA)**¹²

Créé en 1961, l'IRCA met à la disposition d'organismes aussi bien publics que privés de l'aviation, une base de données répertoriant plus de 500 000 aéronefs issus de plus de 40 pays, dans une version de CD-ROM régulièrement mis à jour.

Il existe jusqu'à 45 critères de recherche tels que les informations relatives à la navigabilité (immatriculation, année de construction de l'aéronef,...), les informations techniques (catégorie, constructeur, type, modèle,...) et enfin, les informations moteurs et hélices (catégorie moteur, type moteur,...).

► **Jane's**¹³

Contrairement aux deux autres outils cités ci-dessus, qui sont plutôt des bases de données, les publications Jane's fournissent des informations détaillées sur les aéronefs, les moteurs, les équipements militaires et civils, etc. Elles peuvent apporter des informations complémentaires.

2.2.4.2. Données relatives aux opérations

Afin d'évaluer les émissions, il est également important d'indiquer les opérations. Il existe cinq niveaux de précision (du plus grossier au plus précis).

Le premier niveau consiste à définir le nombre de mouvements.

Le niveau 2 distingue, dans ce nombre de mouvements, les arrivées et les départs, ainsi que la durée moyenne du temps de roulage sur l'aéroport étudié. Cette information est disponible auprès des gestionnaires d'aéroport considéré.

¹¹ JP Airline Fleets International : <https://www.buchair.com/index.htm>

¹² IRCA : <http://www.aviation-register.com/html/french/index.htm>

¹³ Jane's : <http://www.janes.com>

Le troisième niveau ajoute un degré de précision en tenant compte des durées des opérations pour chaque phase du cycle LTO par catégorie d'aéronefs¹⁴.

Le quatrième niveau précise non pas la catégorie des aéronefs, mais le type d'aéronef.

Enfin, le dernier niveau détermine les durées des opérations pour chaque phase du cycle LTO par immatriculation.

Le tableau suivant permet de résumer le paragraphe précédent :

OPÉRATIONS	
Niveau 1	Nombre de mouvements
Niveau 2	Nombre de mouvements Distinction entre les arrivées et les départs Durée moyenne du roulage sur l'aéroport étudié
Niveau 3	Nombre de mouvements Distinction entre les arrivées et les départs Durées des opérations pour chaque phase du cycle LTO par catégorie d'aéronef
Niveau 4	Nombre de mouvements Distinction entre les arrivées et les départs Durées des opérations pour chaque phase du cycle LTO par type d'aéronef
Niveau 5	Nombre de mouvements Distinction entre les arrivées et les départs Durées des opérations pour chaque phase du cycle LTO par immatriculation

Plus le niveau de détail est élevé, meilleure sera la représentativité des résultats des calculs. Selon le nombre de mouvements et les catégories d'aéronefs étudiés, les niveaux de détail n'auront pas la même influence sur les résultats des calculs. La réalisation d'une étude de sensibilité (i.e. de déterminer l'impact de chaque facteur sur les données de sortie) permettrait de s'assurer de la nécessité de détenir un niveau de détail plus important.

Des informations complémentaires relatives aux opérations peuvent être obtenues auprès des compagnies aériennes qui proposent des procédures types de vol. Il existe également des logiciels (e.g. SIMMOD¹⁵ et ELVIRA¹⁶) qui permettent d'estimer les durées des différentes phases du cycle LTO, par exemple à partir d'enregistrements radar.

L'OACI et l'EPA proposent des durées types des phases du cycle LTO qui peuvent être utilisées par défaut. De façon générale, les durées de la phase de circulation au sol dépendent de la taille de l'aéroport ainsi que de son encombrement. L'ajustement de ces durées type aux conditions locales peut être obtenu auprès des aéroports et sera à privilégier par rapport aux durées proposées par défaut dans le cycle LTO de l'OACI.

¹⁴ Il ne faut pas confondre type d'aéronefs et catégorie d'aéronefs. Dans le premier cas, il s'agit par exemple de l'A320, du B747, etc. Dans le second cas, il s'agit de définir si l'aéronef appartient à la classe des jets, des turbopropulseurs, etc. Le premier point est donc plus précis.

¹⁵ SIMMOD : Modèle de simulation de l'espace aérien et des aéroports, utilisé par la FAA, qui permet de tester et d'analyser l'écoulement du trafic aérien.

¹⁶ ELVIRA : Enregistrement Lecture Visualisation Information RADar, logiciel développé par la DGAC/DTI, permettant de traiter les trajectoires suivies par les avions

OACI

Le tableau ci-dessous indique les réglages de poussée et les durées de chaque phase du cycle LTO tel que défini dans l'annexe 16 - Vol. II de l'OACI. Il correspond au niveau 1, précédemment décrit.

<i>Phases</i>	<i>Réglages de poussée (% de la poussée maximale au décollage)</i>	<i>Temps au régime d'utilisation (mn)</i>
<i>Décollage</i>	100	0.7
<i>Montée</i>	85	2.2
<i>Approche</i>	30	4
<i>Circulation au sol et ralenti</i>	7	26

EPA¹⁷

Le tableau ci-dessous fournit des durées types pour différentes catégories d'aéronefs pour chaque phase du cycle LTO. Il correspond au niveau 3 décrit précédemment.

<i>Durées (mn)</i>	<i>Approche</i>	<i>Circulation au sol arrivée</i>	<i>Circulation au sol départ</i>	<i>Décollage</i>	<i>Montée</i>
AVIATION COMMERCIALE					
<i>Longs et moyens courriers</i>	4.0	7.0	19.0	0.7	2.2
<i>Turbopropulseurs</i>	4.5	7.0	19.0	0.5	2.5
<i>Transport (piston)</i>	4.6	6.5	6.5	0.6	5.0
AVIATION GÉNÉRALE					
<i>Jet d'affaire</i>	1.6	6.5	6.5	0.4	0.5
<i>Turbopropulseurs</i>	4.5	7.0	19.0	0.5	2.5
<i>Pistons</i>	6.0	4.0	12.0	0.3	5.0

¹⁷ EPA (Environmental Protection Agency) est l'agence de protection de l'environnement aux États-Unis: « *Compilation of air pollutant emission factors, Volume II: Mobile Sources* », connu sous le nom AP-42, Aircraft Data from February, Ann Arbor, Michigan, Septembre 1985.

3. Quantification des émissions atmosphériques selon deux méthodes

Dans ce guide, nous proposons deux méthodes de calcul pour quantifier les émissions atmosphériques. La première permet d'avoir un ordre de grandeur des émissions pour un domaine donné. La seconde méthode, plus précise, demande de collecter plus d'informations.

De plus amples informations sont disponibles dans le Guide *Airport Air Quality Manual* de l'OACI (doc 9889).

Rappelons la définition d'un inventaire d'émission donnée dans le chapitre 2: « la réalisation d'un inventaire des émissions peut s'appuyer sur le calcul théorique des flux de polluants émis dans l'atmosphère. Il s'agit du produit de l'activité [...] et des facteurs d'émissions ».

$$E_{s,a,t} = A_{a,t} * F_{s,a}$$

Cette définition peut se traduire par la formule générique suivante :

Avec :

E, l'émission relative à la substance " s " et à l'activité " a ", durant le temps " t "

A, la quantité d'activité relative à l'activité " a " pendant le temps " t "

F, le facteur d'émission relatif à la substance " s " et à l'activité " a "

Avant de présenter les différentes méthodes de calcul, il est nécessaire de définir le facteur d'émission ainsi que les données de consommation de carburant.

3.1. Bases de données des facteurs d'émission

D'une façon générale, un facteur d'émission est une valeur moyenne qui établit un rapport entre la quantité de polluant émise dans l'atmosphère et l'activité qui lui est associée.

Dans le cas des moteurs d'aéronefs, les facteurs d'émission sont donnés en masse par unité de masse de carburant consommé ou par unité de temps.

Les bases de données décrites ci-dessous fournissent des facteurs d'émissions pour les moteurs d'aéronefs destinés à la propulsion.

Base de données de l'OACI

Cette base de données, issue de l'OACI répertorie les émissions issues de la certification des réacteurs d'une poussée nominale au décollage supérieure à 26,7 kN.

Une première base de données a été constituée et est disponible dans le document 9889 de l'OACI¹⁸. Elle répertorie les facteurs d'émissions par type avion et fournit un facteur d'émission global par cycle LTO.

L'OACI dispose également d'une seconde base de données (sous format Excel)¹⁹ qui est plus précise que celle du document de référence 9889, car les facteurs d'émission sont fournis pour chaque phase du cycle LTO, et non pas par cycle LTO.

¹⁸ Cf. *Annexe de ce guide* : « Facteurs d'émission par cycle LTO par type d'avion : données issues du document OACI Airport Air quality manual (doc 9889, tableB.1) »

¹⁹ Disponible sur Internet : <http://easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>, régulièrement mise à jour. L'EASA met à disposition, sur son site Internet, la base de données de l'OACI. Celle-ci n'est donc pas une base de données de l'EASA, mais bien de l'OACI.

Les moteurs pour chaque constructeur (Safran, Rolls Royce, Pratt&Whitney, Honeywell, etc.) sont identifiés (UID, puissance nominale, type de kérosène utilisé, etc.) et les facteurs d'émission des polluants (HC, CO, NO_x et *smoke number*) sont fournis pour chaque phase du cycle LTO. Par ailleurs, la base de données donne des précisions notamment sur le débit carburant (*fuel flow*).

N.B. : Les données relatives aux fumées noires ne sont pas exploitables directement puisque l'indice de fumées noires (*Smoke Number*) ne renseigne que sur l'opacité de la tache produite sur un papier filtre.

Des compléments d'informations sont disponibles dans le document 9889 de l'OACI.

Base de données EMEP²⁰

Le guide EMEP, publié par l'EEA²¹ (*European Environment Agency* ou AEE pour Agence Européenne pour l'Environnement) est un appui pour l'élaboration d'inventaire des émissions de polluants atmosphériques. Celui-ci fournit des informations pour différents domaines tels que l'énergie, la combustion, l'agriculture mais également l'aviation. Les données sont sous forme de tableau Excel (tableau croisé).

Pour chaque type d'avion, par phase de vol (croisière ou cycle LTO), il est possible de connaître les émissions pour de très nombreux polluants (HC, CO, SO₂, NO_x, TSP, benzène, etc.). Il fournit également le détail des calculs (dont les facteurs d'émission et de consommation carburant), pour comprendre plus en détail le mode d'obtention des émissions.

La base de données est assez complète et fournit les types avions les plus utilisés dans l'aviation commerciale.

Base de données OMINEA/CITEPA²²

Le guide Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Émissions Atmosphériques en France (OMINEA) réalisé par le CITEPA, est le document de référence français en matière de facteur d'émission. Il recense tous les facteurs d'émission pour tous les domaines d'activité (aviation, industries de l'énergie, etc.).

Il est à noter que le guide permet de calculer les émissions pour le cycle LTO et la phase de croisière. Il concerne tous les types d'aéronefs, sauf les avions militaires. Par ailleurs, le guide s'attache à d'autres types de polluants que ceux certifiés par le guide de l'OACI (CH₄, etc.).

²⁰ EMEP (*European Monitoring and Evaluation Program en anglais*) est un organisme scientifique, établi en vertu de la Convention sur la Pollution Atmosphérique Transfrontalière à Longue Distance (CPATLD), dont le programme est dédié à la surveillance et l'évaluation du transport longue distance des polluants atmosphériques en Europe.

²¹ Agence de l'Union européenne dont la mission est de fournir des informations fiables et indépendantes sur l'environnement.

²² Guide Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Émissions Atmosphériques en France (OMINEA), CITEPA, 11e édition, Février 2014:

http://www.citepa.org/images/III-1_Rapports_Inventaires/OMINEA_11eme%20edition%202014_seci.zip

3.2. Données de consommation de carburant

Les données sur la consommation moyenne de carburant sont accessibles via la base de données EMEP/EEA²³.

À titre d'illustration, quelques données concernant l'A320 ont été extraites. Par ailleurs, la base de données comporte d'autres données telles que les émissions en phase de croisière, ou même les émissions de nombreux polluants.

ID OACI	Phase de vol 1	Phase de vol 2	Consommation carburant (kg)	Émissions NO _x (kg)	Émissions HC (kg)	Émissions SO _x (kg)	Émissions CO (kg)
A320	LTO	a. Taxi out	2626.56	12.34	0.28	2.21	32.65
		b. Taxi off	796.068	21.10	0.033	0.67	0.42
		c. Climb out	2090.88	46.63	0.086	1.76	1.30
		e. Approach landing	1378.08	12.26	0.08	1.16	3.36
		f. Taxi in	967.68	4.55	0.10	0.81	12.03
	Total LTO		7859.27	96.88	0.06	6.60	49.76

Figure 1 : Données issues du tableau EMEP/EEA, publié le 29 août 2013

3.3. 1^{re} méthode: ordre de grandeur des émissions de polluants

Pour déterminer les émissions de NO_x, HC, CO et SO₂, une méthode très simple propose le calcul suivant :

$$E(X) = \sum_{\text{type d'aéronef Y}} N(\text{cycle LTO})_{\text{aéronef Y}} * FE_X$$

Avec : E (X), les émissions du polluant X (kg)

N (cycle LTO)_{aéronef Y}, le nombre de cycle LTO pour le type d'aéronef Y considéré

FE_X, le facteur d'émission pour le polluant X considéré par cycle LTO

Par exemple, pour l'avion A320, sur un cycle LTO, en s'appuyant sur le tableau contenu du document 9889 de l'OACI :

$$E(\text{NO}_x) = 1 * 9.01 = 9.01 \text{ kg, pour un cycle LTO}$$

La méthode est très simple puisque la formule s'affranchit de la durée des phases. Cette méthode de calcul correspond au niveau 1 de la « classification aéronef » (cf. 2.2.4.1.) et au niveau 1 de la « classification opération » (cf. 2.2.4.2.).

²³ Anciennement appelé EMEP/CORINAIR, le guide technique, mis à jour chaque année, pour réaliser des inventaires d'émissions nationales est disponible au lien suivant : <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>

Lorsque le niveau de précision des opérations est compris entre 2 et 5, il est nécessaire de se reporter à la seconde méthode décrite ci-après, en 3.3. de ce guide.

Par ailleurs, il est également possible de calculer la consommation de carburant, via la formule suivante :

$$DC = \sum_{\text{type d'aéronef Y}} N(\text{cycle LTO})_{\text{aéronef Y}} * DC_{\text{aéronef Y}}$$

Avec : DC, la consommation de carburant

$DC_{\text{aéronef Y}}$, le débit de carburant pour le type d'aéronef Y considéré (kg/LTO/avion)

Enfin, il faut noter que la méthode ne tient compte ni des types de moteurs, ni du mode opérationnel, ni des durées de phase réelles.

La méthode développée dans cette partie permet d'avoir un ordre de grandeur des émissions sur un domaine donné.

3.4. 2^{de} méthode : détermination à partir des consommations moyenne de carburant par type avion

Cette méthode s'applique aux polluants NO_x , CO et HC. Pour le SO_2 , le guide propose une autre méthode détaillée ci-après. En effet, l'OACI ne dispose pas des standards de certification des émissions pour le polluant SO_2 .

Dans le cas où le niveau de la « classification des opérations » est compris entre 2 et 4 (cf.2.2.4.2.), la formule suivante peut être utilisée :

$$E(X)_a = \sum_{\varphi} (d_{a,\varphi} * 60) * DC_{a,\varphi} * FE_{X,a,\varphi}$$

Avec : $E(X)_a$, l'émission totale pour le polluant X, produit par le type aéronef " a " pour un cycle LTO (en g)

$d_{a,\varphi}$, la durée de la phase φ du cycle LTO considérée (approche, ou roulage, etc.) pour chaque type aéronef considéré (min)

$DC_{a,\varphi}$, la consommation de carburant pour la phase φ considérée pour chaque moteur du type aéronef (kg/s)

$FE_{X,a,\varphi}$, le facteur d'émission du polluant X (g/kg de carburant) pour la phase φ considérée pour chaque type aéronef

La formule peut s'utiliser pour la « classification des aéronefs » pour les niveaux 1, 2 et 3 (cf. 2.2.41.).

Lorsque le niveau de la « classification des opérations » est égal à 5 et que la « classification des aéronefs » est de niveau 4, la formule suivante permet d'estimer les émissions des trois polluants (NO_x , CO et HC) :

$$E(X)_a = \sum_{\varphi} (d_{a,\varphi} * 60) * DC_{a,\varphi} * FE_{X,a,\varphi} * N_{\text{moteur}}$$

Avec: $E(X)_a$, l'émission totale pour le polluant X, produit par le type aéronef " a " pour un cycle LTO (en g)
 $d_{a,\varphi}$, la durée de la phase φ du cycle LTO considérée (approche, ou roulage, etc.) pour chaque type aéronef considéré (min)
 $DC_{a,\varphi}$, la consommation de carburant pour la phase φ considérée pour chaque moteur du type aéronef (kg/s)
 $FE_{X,a,\varphi}$, le facteur d'émission du polluant X (g/kg de carburant) pour la phase φ considérée pour chaque moteur du type aéronef
 N_{moteur} , le nombre de moteur de l'aéronef considéré²⁴

Cas des émissions du dioxyde de soufre

L'OACI ne dispose d'aucune norme de certification en ce qui concerne le dioxyde de soufre. Puisque ses émissions dépendent la quantité de soufre présente dans le carburant, il est donc possible de déterminer ses émissions.

L'EPA, qui est l'Agence de Protection de l'Environnement aux États-Unis, a réalisé une étude sur la teneur en soufre dans le carburant de l'aviation commerciale. En moyenne, pour 1 kg de carburant consommé, il contient 1 gramme de SO_2 (soit un $FE(SO_2) = 1g/kg$ de fuel). Si d'autres valeurs existent, il serait bon de les utiliser. Mais par défaut, cette valeur peut être utilisée, notamment dans la formule suivante :

$$E(SO_2) = \sum_{\varphi} (d_{SO_2} * 60) * \tau_{SO_2,\varphi} * N_{moteur}$$

Avec: $E(SO_2)$, les émissions totales de SO_2 produites par type avion pour un cycle LTO (g)
 d_{SO_2} , la durée de la phase φ du cycle considérée par type avion (min)
 τ_{SO_2} , le taux d'émission de SO_2 total pour la phase φ du cycle LTO, par type avion (g de SO_2 émis/s)
 N_{moteur} , le nombre de moteurs du type avion considéré

Et :

$$\tau_{SO_2} = FE(SO_2) * DC_a$$

Avec $FE(SO_2)$, le facteur d'émission (cf. début de paragraphe)
 DC_a , la consommation de carburant pour chaque phase φ du cycle LTO par type avion (kg/s)

3.5. Cas des particules PM

L'OACI ne possède pas actuellement de standards de certification des émissions des PM. Cependant, le CAEP a développé et approuvé une méthode qui permet d'approximer leurs émissions à partir des moteurs d'avion certifiés : c'est la *First Order Approximation* (ou FOA). L'ensemble de la méthodologie est développé dans la pièce jointe D de l'Appendice 1 du document 9889 de l'OACI.

Par ailleurs, le *Working group 3* (WG3), groupe de travail du CAEP, travaille actuellement à l'établissement de normes pour les émissions de particules non volatiles des réacteurs de plus de 26,7 kN.

²⁴ Le nombre de moteurs est en général défini dans les documents cités dans ce guide.

4. Annexes

Facteurs d'émission par cycle LTO par type d'avion : données issues du document OACI *Airport Air quality manual* (doc 9889, table B.1)

Aircraft ¹		LTO emission factors/aeroplane kg/LTO/aircraft ²					Fuel consumption (kg/LTO/aircraft)
		CO ₂ ³	HC	NO _x	CO	SO ₂ ⁴	
Large commercial aircraft ⁵ Source: ICAO (2004) ⁶	A300	5 450	1.25	25.86	14.80	1.72	1 720
	A310	4 760	6.30	19.46	28.30	1.51	1 510
	A319	2 310	0.59	8.73	6.35	0.73	730
	A320	2 440	0.57	9.01	6.19	0.77	770
	A321	3 020	1.42	16.72	7.55	0.96	960
	A330-200/300	7 050	1.28	35.57	16.20	2.23	2 230
	A340-200	5 890	4.20	28.31	26.19	1.86	1 860
	A340-300	6 380	3.90	34.81	25.23	2.02	2 020
	A340-500/600	10 660	0.14	64.45	15.31	3.37	3 370
	707	5 890	97.45	10.96	92.37	1.86	1 860
	717	2 140	0.05	6.68	6.78	0.68	680
	727-100	3 970	6.94	9.23	24.44	1.26	1 260
	727-200	4 610	8.14	11.97	27.16	1.46	1 460
	737-100/200	2 740	4.51	6.74	16.04	0.87	870
	737-300/400/500	2 480	0.84	7.19	13.03	0.78	780
	737-600	2 280	1.01	7.66	8.65	0.72	720
	737-700	2 460	0.86	9.12	8.00	0.78	780
	737-800/900	2 780	0.72	12.30	7.07	0.88	880
	747-100	10 140	48.43	49.17	114.59	3.21	3 210
	747-200	11 370	18.24	49.52	79.78	3.60	3 600
	747-300	11 080	2.73	65.00	17.84	3.51	3 510
	747-400	10 240	2.25	42.88	26.72	3.24	3 240
	757-200	4 320	0.22	23.43	8.08	1.37	1 370
	757-300	4 630	0.11	17.85	11.62	1.46	1 460
	767-200	4 620	3.32	23.76	14.80	1.46	1 460
	767-300	5 610	1.19	28.19	14.47	1.77	1 780
	767-400	5 520	0.98	24.80	12.37	1.75	1 750
	777-200/300	8 100	0.66	52.81	12.76	2.56	2 560
	DC-10	7 290	2.37	35.65	20.59	2.31	2 310
	DC-8-50/60/70	5 360	1.51	15.62	26.31	1.70	1 700
	DC-9	2 650	4.63	6.16	16.29	0.84	840
	L-1011	7 300	73.96	31.64	103.33	2.31	2 310

Aircraft ¹		LTO emission factors/aeroplane kg/LTO/aircraft ²					Fuel consumption (kg/LTO/aircraft)
		CO ₂ ³	HC	NO _x	CO	SO ₂ ⁴	
Large commercial aircraft ⁵ Source: ICAO (2004) ⁶	MD-11	7 290	2.37	35.65	20.59	2.31	2 310
	MD-80	3 180	1.87	11.97	6.46	1.01	1 010
	MD-90	2 760	0.06	10.76	5.53	0.87	870
	TU-134	5 860	35.97	17.35	55.96	1.86	1 860
	TU-154-M	7 040	17.56	16.00	110.51	2.51	2 510
	TU-154-B	9 370	158.71	19.11	190.74	2.97	2 970
Regional jets/business jets > 26.7 kN thrust	RJ-RJ85	950	0.67	2.17	5.61	0.30	300
	BAE 146	900	0.70	2.03	5.59	0.29	290
	CRJ-100ER	1 060	0.63	2.27	6.70	0.33	330
	ERJ-145	990	0.56	2.69	6.18	0.31	310
	Fokker 100/70/28	2 390	1.43	5.75	13.84	0.76	760
	BAC111	2 520	1.52	7.40	13.07	0.80	800
	Domier 328 Jet	870	0.57	2.99	5.35	0.27	280
	Gulfstream IV	2 160	1.37	5.63	8.88	0.68	680
	Gulfstream V	1 890	0.31	5.58	8.42	0.60	600
	Yak-42M	1 920	1.68	7.11	6.81	0.61	610
Low thrust jets (Fn < 26.7 kN) Source: FAED222 ⁷	Cessna 525/560	1 060	3.35	0.74	34.07	0.34	340
Turboprops Source: FOI ⁸	Beech King Air ⁹	230	0.64	0.30	2.97	0.07	70
	DHC8-100 ¹⁰	640	0.00	1.51	2.24	0.20	200
	ATR72-500 ¹¹	620	0.29	1.82	2.33	0.20	200

Notes.—

- Equivalent aircraft are contained in Table B-3.
- Information regarding the uncertainties associated with the data can be found in the following references:
 - QinetiQ/FST/CR030440 "EC-NEPAir: Work Package 1 Aircraft engine emissions certification — a review of the development of ICAO Annex 16, Volume II," by D.H. Lister and P.D. Norman.
 - ICAO Annex 16, Volume II, 2nd edition (1993).
- CO₂ for each aircraft based on 3.16 kg CO₂ produced for each kg of fuel used, then rounded to the nearest 10 kg.
- The sulphur content of the fuel is assumed to be 0.05 per cent (same assumption as in the 1996 IPCC NGGIP revision).
- Engine types for each aircraft were selected on the basis of the engine with the most LTOs as of 30 July 2004 (except 747-300 — see text). This approach, for some engine types, may underestimate (or overestimate) fleet emissions which are not directly related to fuel consumption (e.g. NO_x, CO, HC).
- ICAO (International Civil Aviation Organization) Engine Exhaust Emissions Data Bank (2004) based on average measured certification data. Emission factors apply to the LTO cycle only. Total emissions and fuel consumption are calculated based on ICAO standard time-in-mode and thrust levels.
- U.S. Federal Aviation Administration (FAA) Emissions and Dispersion Modelling System (EDMS) non-certified data.
- FOI (The Swedish Defence Research Agency) turboprop LTO emissions database non-certified data.
- Representative of turboprop aircraft with shaft horsepower (SHP) of up to 1 000 SHP/engine.
- Representative of turboprop aircraft with shaft horsepower of 1 000 to 2 000 SHP/engine.
- Representative of turboprop aircraft with shaft horsepower of more than 2 000 SHP/engine.

Conception: STAC/SINA groupe Documentation et diffusion des connaissances (DDC)

Couverture © Phothèque/STAC Marie-Ange FROISSART

Illustration/Dessin: © STAC

Mai 2015



service technique de l'Aviation civile
CS 30012
31, avenue du Maréchal Leclerc
94385 BONNEUIL-SUR-MARNE CEDEX
Tél. 33 (0) 1 49 56 80 00
Fax 33 (0) 1 49 56 82 19

Site de Toulouse
9, avenue du Docteur Maurice Grynfolgel - BP 53735
31037 TOULOUSE CEDEX
Tél. 33 (0) 1 49 56 83 00
Fax 33 (0) 1 49 56 83 02

Centre de test de détection d'explosifs
DGA EM site Landes - BP 38
40602 BISCARROSSE CEDEX
Tél. 33 (0) 5 58 83 01 73
Fax 33 (0) 5 58 78 02 02