



OACI

Doc 9889

Manuel sur la qualité de l'air aux aéroports

Deuxième édition, 2020



Approuvé par la Secrétaire générale et publié sous son autorité

ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE



| OACI

Doc 9889

Manuel sur la qualité de l'air aux aéroports

Deuxième édition, 2020

Approuvé par la Secrétaire générale et publié sous son autorité

ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE

Publié séparément en français, en anglais, en arabe, en chinois, en espagnol et en russe par l'ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE
999, boul. Robert-Bourassa, Montréal (Québec) H3C 5H7 Canada

Les formalités de commande et la liste complète des distributeurs officiels et des librairies depositaires sont affichées sur le site web de l'OACI (www.icao.int).

Deuxième édition, 2020

Doc 9889, Manuel sur la qualité de l'air aux aéroports

Commande n° : 9889
ISBN 978-92-9265-283-8

© OACI 2021

Tous droits réservés. Il est interdit de reproduire, de stocker dans un système de recherche de données ou de transmettre sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, un passage quelconque de la présente publication, sans avoir obtenu au préalable l'autorisation écrite de l'Organisation de l'aviation civile internationale.

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
Avant-propos	IX
Glossaire	XI
Sigles et abréviations	XIII
Publications de l'OACI	XVII
Chapitre 1. Introduction	1-1
1.1 Objet.....	1-1
1.2 Le Comité sur la protection de l'environnement en aviation	1-1
1.3 Historique	1-2
1.4 Évaluation de la qualité de l'air	1-3
Chapitre 2. Cadre réglementaire et incitations à agir	2-1
2.1 Introduction.....	2-1
2.2 Incitations à agir	2-2
2.3 Réglementations sur la qualité de l'air locale et réglementation sur les polluants	2-3
2.4 Normes et réglementations sur les émissions des moteurs d'aviation et des véhicules routiers.....	2-6
2.5 Modifier les réglementations et objectifs technologiques.....	2-9
2.6 Réponses réglementaires.....	2-9
Chapitre 3. Inventaire des émissions	3-1
3.1 Introduction.....	3-1
3.2 Paramètres pour les inventaires d'émissions	3-2
3.3 Espèces d'émissions de polluants atmosphériques	3-3
3.4 Sources d'émissions liées aux aéroports	3-4
3.5 Émissions locales et émissions régionales.....	3-6
3.6 Assurance qualité.....	3-6
3.7 Prévisions.....	3-7
Appendice 1. Méthodologies d'estimation des émissions des moteurs d'aviation	3-A1-1
Appendice 2. Émissions liées à l'assistance en escale	3-A2-1
Appendice 3. Sources d'émissions liées à l'infrastructure et sources stationnaires	3-A3-1
Appendice 4. Émissions du trafic de véhicules	3-A4-1

Chapitre 4. Distribution spatio-temporelle des émissions	4-1
4.1 Introduction.....	4-1
4.2 Considérations générales sur la distribution des émissions	4-2
4.3 Distribution spatiale	4-5
4.4 Distribution temporelle.....	4-6
4.5 Emploi de modèles informatisés.....	4-7
4.6 Formatage des données et compte rendu.....	4-8
Chapitre 5. Modélisation de la dispersion	5-1
5.1 Introduction.....	5-1
5.2 Exigences et facteurs extérieurs	5-1
5.3 Concepts généraux en matière de dispersion	5-2
5.4 Entrées requises pour les modèles	5-4
5.5 Calcul de la dispersion	5-8
5.6 Sorties des modèles.....	5-12
5.7 Application de la modélisation et interprétation des résultats	5-12
Appendice 1. Aperçu des méthodologies de modélisation de la dispersion.....	5-A1-1
Appendice 2. Modèles de dispersion couramment utilisés aux abords des aéroports	5-A2-1
Appendice 3. Sources d'informations climatologiques	5-A3-1
Chapitre 6. Mesure de la qualité de l'air ambiant pour les aéroports	6-1
6.1 Introduction.....	6-1
6.2 Besoins et incitations à agir pour des mesures de qualité de l'air	6-1
6.3 Plan de mesure	6-2
6.4 Analyse des données	6-8
6.5 Assurance qualité/contrôle de qualité des mesures	6-10
Appendice 1. Description d'une sélection de méthodes de mesure.....	6-A1-1
Appendice 2. Exemples de méthodes de mesure.....	6-A2-1
Appendice 3. Références (sélection)	6-A3-1
Chapitre 7. Options en matière d'atténuation	7-1
7.1 Introduction.....	7-1
7.2 Méthodologie de planification de l'atténuation.....	7-1
7.3 Options en matière d'atténuation.....	7-4
Appendice au Chapitre 7. Références	7-A1-1

Chapitre 8. Interactions associées aux méthodes d'atténuation d'incidences environnementales	8-1
8.1 Introduction.....	8-1
8.2 Recommandations pour l'évaluation des interactions	8-2
8.3 Interactions opérationnelles pour manœuvres au sol.....	8-3
8.4 Interactions opérationnelles pour les départs	8-3
8.5 Interactions opérationnelles pour les arrivées	8-6
8.6 Exemples concrets — Circulaire 317 de l'OACI	8-8

Références

AVANT-PROPOS

1. Le présent manuel, portant sur un domaine de connaissance en évolution, représente l'information actuellement disponible qui est suffisamment bien établie pour qu'il soit justifié de l'inclure dans des éléments d'orientation internationaux. Il traite de questions relatives à l'évaluation de la qualité de l'air aux aéroports qui relèvent expressément de la compétence de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) (telles les émissions des moteurs principaux) ou à propos desquelles existe une compréhension bien établie de sources extra-aéronautiques (telles que les chaudières, le matériel de servitude au sol et le trafic routier) qui contribueront, dans une plus ou moins grande mesure, aux incidences sur la qualité de l'air.
2. Des questions pertinentes, mais dont le présent manuel ne traite pas, qui concernent des sources d'émissions potentielles (p. ex. effets de la vitesse d'avancement des aéronefs, influence des conditions ambiantes sur les émissions, émissions au démarrage, usure des freins et des pneus), ont été identifiées et font l'objet d'investigations plus poussées de la part de l'OACI, d'États membres, d'organisations observatrices ou d'autres organismes experts, en tenant compte de l'expérience pratique.
3. La présente deuxième édition du manuel comprend des chapitres sur le cadre réglementaire et les facteurs incitant à prendre des mesures pour la qualité de l'air locale, les pratiques d'inventaire des émissions et la distribution spatio-temporelle des émissions, les inventaires d'émissions effectués (y compris une approche sophistiquée de calcul détaillé des émissions des aéronefs), la modélisation de la dispersion, les mesures réalisées aux aéroports, les options en matière d'atténuation, et les interactions associées aux méthodes d'atténuation des incidences environnementales. Tout au long de ce document, des références supplémentaires sont mentionnées à l'intention des personnes intéressées à explorer ces questions de façon plus approfondie.
4. Conçu comme un document évolutif, le manuel sera mis à jour à mesure que davantage de connaissances seront acquises sur ce sujet. Les observations seront appréciées, en particulier en ce qui concerne son application et son utilité. Il en sera tenu compte dans l'élaboration d'éditions ultérieures. Ces observations sont à adresser au :

La Secrétaire générale
Organisation de l'aviation civile internationale
999, boul. Robert-Bourassa
Montréal (Québec) H3C 5H7
Canada

GLOSSAIRE

Au-dessus du niveau du sol (AGL) (Above ground level). Hauteur au-dessus de l'altitude topographique connue de la piste ou du sol.

Bassin atmosphérique (Airshed). Masse d'air qui se comporte de façon cohérente en ce qui concerne la dispersion des émissions. Aux fins des études de la dispersion effectuées avec les modèles numériques, le bassin atmosphérique peut donc être considéré comme une unité d'analyse et de gestion.

Conditionneur d'air (ACU) (Air climate unit). Compresseur motorisé ou tracté qui alimente les aéronefs en air préconditionné pendant le temps d'escale.

Cycle d'atterrissage et de décollage (CAD) [Landing and take-off cycle (LTO)]. Un CAD est constitué de quatre phases d'exploitation : approche, circulation au sol, décollage et montée.

Dioxyde de carbone (CO₂). Gaz existant à l'état naturel qui est aussi un sous-produit de la combustion de carburants fossiles ou de biomasse, de changements dans l'utilisation des sols ou d'autres processus industriels. Le dioxyde de carbone est le gaz de référence par rapport auquel le potentiel de réchauffement global d'autres gaz à effet de serre est mesuré. Effets : sa contribution aux changements climatiques.

Groupe auxiliaire de puissance (GAP) [Auxiliary power unit (APU)]. Groupe de puissance autonome, à bord d'un aéronef, qui alimente des équipements de bord en énergie électrique ou en air comprimé au cours des opérations au sol.

Groupe électrogène au sol (GES) [Ground power unit (GPU)]. Fournit l'énergie électrique aux aéronefs pendant le temps d'escale.

Kérosène. Carburant pour réacteurs (p. ex. Jet-A1).

Matériel de servitude au sol (GSE) (Ground support equipment). La large catégorie de véhicules et de matériel qui desservent les aéronefs, notamment ceux qui sont utilisés pour le remorquage, la maintenance, l'embarquement et le débarquement des passagers et du fret, ainsi que pour l'alimentation électrique, l'avitaillement en carburant et la fourniture d'autres services aux aéronefs.

Monoxyde de carbone (CO). Gaz incolore et inodore formé lors d'une combustion incomplète de carburants de chauffage ou pour moteurs. Effets : agit comme poison respiratoire chez les humains et les animaux à sang chaud. Joue un rôle dans la formation d'ozone dans la troposphère libre.

Oxydes d'azote (NO_x/NO₂). Terme générique englobant le dioxyde d'azote (NO₂) et le monoxyde d'azote (NO). Le NO s'oxydant rapidement pour devenir du NO₂, les émissions sont exprimées en équivalents dioxyde d'azote (NO₂). Les oxydes d'azote sont formés lors de la combustion des combustibles de chauffage ou des carburants pour moteurs, spécialement aux hautes températures. Caractéristiques : le NO est un gaz incolore, converti dans l'atmosphère en NO₂ ; le NO₂ prend une couleur rougeâtre à hautes concentrations. Effets : problèmes respiratoires, dommages importants aux végétaux et aux écosystèmes sensibles, par l'action combinée de plusieurs polluants (acidification) et surfertilisation d'écosystèmes.

Particules (PM) (Particulate matter). Terme employé pour décrire les particules d'un diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 10 micromètres. D'un point de vue physico-chimique, la poussière est un mélange complexe consistant en composants d'origine naturelle ou anthropique, émis directement ou de formation secondaire (p. ex. suie, matières géologiques, particules d'abrasion et matières biologiques), et dont la composition est très variée (métaux lourds, sulfates, nitrates, ammonium, carbones organiques, hydrocarbures aromatiques polycycliques, dioxines/furanes). Les PM_{2,5} sont des particules fines d'un diamètre de 2,5 micromètres ou moins. Elles sont d'importance critique en ce qui concerne les effets sur la santé. Des PM sont formées au cours des processus de production industrielle, processus de combustion, processus mécaniques (abrasion de matériaux de surface et génération de poussière fugitive) et comme formation secondaire (à partir de SO₂, NO_x, NH₃ et composés organiques volatils). Caractéristiques : particules solides ou liquides de tailles et de composition diverses. Effets : les particules fines et la suie peuvent être cause de problèmes respiratoires et cardio-vasculaires, de mortalité accrue et de risques de cancer ; le dépôt de poussière peut entraîner une contamination des sols et des végétaux et aussi, via la chaîne alimentaire, une exposition humaine à des métaux lourds et à des dioxines/furanes contenus dans la poussière.

Système fixe d'alimentation en énergie (FES) (Fixed energy system). Aux postes de stationnement d'aéronef (éloigné ou sur jetée), système qui alimente les aéronefs en énergie dont la production est centralisée [électricité ou parfois air préconditionné (PCA)] pendant le temps d'escale.

Système de conditionnement d'air (ECS) (Environmental control system). De l'air de prélèvement provenant du GAP est fourni aux groupes de conditionnement d'air de l'aéronef, qui fournissent l'air conditionné à la cabine. Pour les essais d'émissions, la condition de charge au prélèvement est réglée pour le fonctionnement type au poste de stationnement (dépendant du type et de la taille de l'aéronef) et inclut normalement une certaine charge (électrique) sur l'arbre.

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AAL	Au-dessus du niveau de l'aérodrome (<i>Above aerodrome level</i>)
ACARE	Conseil consultatif pour la recherche aéronautique en Europe (<i>Advisory Council for Aeronautics Research in Europe</i>)
ACU	Conditionneur d'air (<i>Air climate unit</i>)
ADAECAM	Méthode de calcul avancée des émissions des aéronefs (<i>Advanced aircraft emission calculation method</i>)
ADMS	Système de modélisation de la dispersion atmosphérique (Royaume-Uni) (<i>Atmospheric Dispersion Modelling System</i>)
AEDT	Système de modélisation AEDT (États-Unis-FAA) (<i>Aviation Environmental Design Tool</i>)
AESA	Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne [<i>European Aviation Safety Agency (EASA)</i>]
AGL	Au-dessus du niveau du sol (<i>Above ground level</i>)
ALAQs	Études sur la qualité de l'air locale aux aéroports (EUROCONTROL) (<i>Airport Local Air Quality Studies</i>)
ANSP	Fournisseur de services de navigation aérienne (<i>Air navigation service provider</i>)
APMA	Pollution de l'air dans les mégapoles d'Asie (<i>Air pollution in the megacities of Asia</i>)
ARFF	Sauvetage et lutte contre l'incendie à l'aéroport (<i>Airport rescue and fire fighting</i>)
ASQP	Performance de qualité des services de ligne (<i>Airline service quality performance</i>)
ATA	Association du transport aérien (<i>Air Transport Association</i>)
ATOW	Masse au décollage réelle (<i>Actual take-off weight</i>)
Avgas	Carburant d'aviation (<i>Aviation gasoline</i>)
BADA	Base de données d'aéronefs (<i>Base of aircraft data</i>)
BFFM2	Méthode 2 de Boeing pour le calcul du débit de carburant (<i>Boeing fuel flow method 2</i>)
BHP	Puissance au frein (<i>Brake horsepower</i>)
BPR	Taux de dilution (<i>Bypass ratio</i>)
BTS	<i>Bureau of Transportation Statistics</i> (États-Unis)
CAD	Cycle d'atterrissage et de décollage [<i>Landing and Take-Off (LTO)</i>]
CAEP	Comité de la protection de l'environnement en aviation (<i>Committee on Aviation Environmental Protection</i>)
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques [<i>United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)</i>]
CDO	Opérations en descente continue (<i>Continuous descent operations</i>)
CERC	<i>Cambridge Environmental Research Consultants</i> (Royaume-Uni)
CH ₄	Méthane (<i>Methane</i>)
CI	Indice carbone (<i>Carbon index</i>)
CO	Monoxyde de carbone (<i>Carbon monoxide</i>)
CO ₂	Dioxyde de carbone (<i>Carbon dioxide</i>)
DAC	Chambre de combustion annulaire double (<i>Double annular combustor</i>)
DEFRA	<i>Department for Environment, Food and Rural Affairs</i> (Royaume-Uni)
DfT	<i>Department for Transport</i> (Royaume-Uni)
DLR	<i>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt</i>
DOAS	Spectroscopie à absorption optique différentielle (<i>Differential optical absorption spectroscopy</i>)
DOT	<i>Department of Transportation</i> (États-Unis)
ECS	Système de conditionnement d'air (<i>Environmental control system</i>)
EDMS	Système de modélisation de la dispersion des émissions (États-Unis-FAA) (<i>Emission Dispersion Modelling System</i>)
EEA	Agence européenne pour l'environnement (<i>European Environment Agency</i>)
EEDB	Banque de données sur les émissions des moteurs (OACI) (<i>Engine Emissions Data Bank</i>)
EPA	Agence de protection de l'environnement (États-Unis) (<i>Environmental Protection Agency</i>)

ETFMS	Système amélioré de gestion tactique des courants de trafic (<i>Enhanced tactical flow management system</i>) (EUROCONTROL)
ETMS	Système évolué de gestion de la circulation aérienne (États-Unis) (<i>Enhanced traffic management system</i>)
FAA	Administration fédérale de l'aviation des États-Unis [<i>Federal Aviation Administration (États-Unis)</i>]
FAF	Repère d'approche finale (<i>Final approach fix</i>)
FBO	Exploitant de base aérienne (<i>Fixed-based operator</i>)
FDR	Enregistreur de données de vol (<i>Flight data recorder</i>)
FESG	Groupe de soutien sur les prévisions et l'analyse économique du CAEP de l'OACI (<i>ICAO CAEP Forecasting and Economic Analysis Support Group</i>)
FIRE	<i>Factor Information Retrieval Data System</i> (États-Unis EPA)
FOA	Approximation de premier degré (<i>First Order Approximation</i>)
FOD	Dommage par corps étranger (<i>Foreign object damage</i>)
FOI	Agence suédoise de recherche pour la défense (<i>Swedish Defense Research Agency</i>)
g	Gramme (<i>Gram</i>)
GAP	Groupe auxiliaire de puissance [<i>Auxiliary power unit (APU)</i>]
GE	<i>General Electric</i>
GES	Groupe électrogène au sol [<i>Ground power unit (GPU)</i>]
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [<i>Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)</i>]
GNC	Gaz naturel comprimé [<i>Compressed natural gas (CNG)</i>]
GPL	Gaz de pétrole liquéfié [<i>Liquefied petroleum gas (LPG)</i>]
GSE	Matériel de servitude au sol (<i>Ground support equipment</i>)
GUI	Interface utilisateur graphique (<i>Graphical user interface</i>)
h	Heure (<i>Hour</i>)
HAP	Polluant atmosphérique dangereux (<i>Hazardous air pollutant</i>)
HC	Hydrocarbures (<i>Hydrocarbon</i>)
hp	CV (<i>Horsepower</i>)
Hz	Hertz
IAE	<i>International Aero Engines</i>
ICCAIA	Conseil international de coordination des associations d'industries aérospatiales (<i>International Coordinating Council of Aerospace Industries Associations</i>)
IE	Indice d'émission [<i>Emission index (EI)</i>]
IOAG	Annuaire officiel international des compagnies aériennes (<i>International Official Airline Guide</i>)
ISA	Atmosphère type internationale (<i>International Standard Atmosphere</i>)
kg	Kilogramme (<i>Kilogram</i>)
km	Kilomètre (<i>Kilometre</i>)
kN	Kilonewton
kW	Kilowatt
LASAT	Simulation lagrangienne de transports d'aérosols (<i>Lagrangian simulation of aerosol — transports</i>)
LASPORT	<i>LASAT for Airports (Europe)</i>
m	Mètre (<i>Metre</i>)
MCLT	Poussée maximale de montée (<i>Maximum climb thrust</i>)
min	Minute
MSDS	Fiche signalétique de sécurité de produit (<i>Material safety data sheet</i>)
NAAQS	<i>National Ambient Air Quality Standards</i> (États-Unis)
NASA	Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (États-Unis) (<i>National Aeronautics and Space Administration</i>)
NGGIP	Programme sur les inventaires nationaux de gaz à effet de serre (<i>National Greenhouse Gas Inventories Programme</i>)
NMHC	Hydrocarbures non méthaniques (<i>Non-methane hydrocarbons</i>)
NMVOC	Composés organiques volatils non méthaniques (<i>Non-methane volatile organic compounds</i>)
NO	Monoxyde d'azote (<i>Nitrogen monoxide</i>)
NO _x	Oxydes d'azote (<i>Nitrogen oxides</i>)

NO ₂	Dioxyde d'azote (<i>Nitrogen dioxide</i>)
NPR	Route préférentielle à moindre bruit (<i>Noise-preferential route</i>)
nvPM	Particules non volatiles (<i>Non-volatile particulate matter</i>)
nvPMmass	Masse des particules non volatiles (<i>Non-volatile particulate matter mass</i>)
nvPMnumber	Nombre de particules non volatiles (<i>Non-volatile particulate matter number</i>)
O ₃	Ozone
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale [<i>International Civil Aviation Organization (ICAO)</i>]
OFAC	Office fédéral de l'aviation civile (Suisse) (<i>Federal Office for Civil Aviation</i>)
OMS	Organisation mondiale de la Santé [<i>World Health Organization (WHO)</i>]
OPR	Rapport de pression global (<i>Overall pressure ratio</i>)
Pb	Plomb (<i>Lead</i>)
PCA	Air préconditionné (pour refroidissement/chauffage d'aéronefs en stationnement) (<i>Pre-conditioned air</i>)
PLTOW	Masse au décollage limitée par les performances (<i>Performance-limited take-off weight</i>)
PM	Particules (<i>Particulate matter</i>)
PM _{2,5}	Particules fines d'un diamètre aérodynamique de 2,5 micromètres ou moins (<i>Particulate matter with an aerodynamic diameter of 2.5 micrometres or less</i>)
PM ₁₀	Particules d'un diamètre aérodynamique de 10 micromètres ou moins (<i>Particulate matter with an aerodynamic diameter of 10 micrometres or less</i>)
ppm	Parties par million (<i>Parts per million</i>)
P&W	Pratt & Whitney
QAL	Qualité de l'air locale [<i>Local air quality (LAQ)</i>]
RAC	Rapport air-carburant [<i>Air-fuel ratio (AFR)</i>]
RR	Rolls Royce
s	seconde (<i>Second</i>)
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SHP	Puissance sur l'arbre (<i>Shaft horsepower</i>)
SIG	Système d'information géographique [<i>Geographical information system (GIS)</i>]
SN	Indice de fumée (<i>Smoke number</i>)
SO _x	Oxydes de soufre (<i>Sulphur oxides</i>)
SO ₂	Dioxyde de soufre (<i>Sulphur dioxide</i>)
TEOM	Microbalance oscillatoire à élément biseauté (<i>Tapered Element Oscillating Microbalance</i>)
THC	Hydrocarbures totaux (<i>Total hydrocarbon</i>)
TIM	Durée de phase (durée dans le régime d'utilisation) (<i>Time-in-mode</i>)
TOW	Masse au décollage (<i>Take-off weight</i>)
TSC	Teneur en soufre du carburant (<i>Fuel sulphur contents</i>)
UE	Union européenne [<i>European Union (EU)</i>]
UFP	Particules ultrafines (particule d'un diamètre aérodynamique de 0,1 micromètre ou moins) [<i>Ultrafine particles (particulate matter with an aerodynamic diameter of 0.1 micrometre or less)</i>]
UID	Identifiant unique (<i>Unique identifier</i>)
µg/m ³	Microgrammes par mètre cube (<i>Micrograms per cubic metre</i>)
V	Volt
VMT	Milles-véhicule parcourus (<i>Vehicle-miles travelled</i>)
VOC	Composés organiques volatils (<i>Volatile organic compounds</i>)

PUBLICATIONS DE L'OACI

(citées dans ce manuel)

Annexes à la Convention relative à l'aviation civile internationale

Annexe 16 — *Protection de l'environnement*
Volume I — *Bruit des aéronefs*
Volume II — *Émissions des moteurs d'aviation*

Procédures pour les services de navigation aérienne

OPS — *Exploitation technique des aéronefs* (Doc 8168)
Volume I — *Procédures de vol*
Volume II — *Construction des procédures de vol à vue et de vol aux instruments*

Manuels

Manuel de planification d'aéroport (Doc 9184)
Partie 1 — *Planification générale*
Partie 2 — *Utilisation des terrains et gestion de l'environnement*
Partie 3 — *Lignes directrices pour l'élaboration des contrats de consultant et des contrats de construction*

Orientations sur les redevances liées aux émissions des moteurs d'aviation et à la qualité de l'air locale (Doc 9884)

Banque de données de l'OACI sur les émissions des moteurs (Doc 9646)¹

Méthode recommandée pour le calcul des courbes de niveau de bruit au voisinage des aéroports (Doc 9911)

Possibilités opérationnelles de réduire la consommation de carburant et les émissions (Doc 10013)

Circulaires

Incidences des procédures de départ à moindre bruit des PANS-OPS sur le bruit et les émissions gazeuses (Cir 317)

Rapport de réunions

Rapport de la 7^e réunion du Comité de la protection de l'environnement en aviation (CAEP/7) (Doc 9886)

1. Ce document est définitivement épuisé. L'OACI fournit les données sur la certification des émissions sur le site <http://www.easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>

Chapitre 1

INTRODUCTION

1.1 OBJET

1.1.1 Ce document contient des conseils et des informations pratiques pour aider les États membres à mettre en œuvre les meilleures pratiques en matière de qualité de l'air aux abords des aéroports. Les informations sur les besoins des États, les émissions de sources aéroportuaires, les inventaires d'émissions et l'attribution des émissions sont abordées dans tout le document.

1.1.2 Ce document présente aussi un processus qui devrait permettre aux États de déterminer les meilleures approches et les meilleurs cadres d'analyse pour évaluer la qualité de l'air aux aéroports et identifie les meilleures pratiques pour différents besoins ou scénarios. Il n'est pas destiné à servir de base à des mesures de réglementation, ne décrit pas de projets ou d'actions spécifiques et ne traite pas d'aspects se rapportant à la recherche sur la qualité de l'air aux aéroports.

1.1.3 Élaborés en vue d'aider tous les États membres de l'OACI à mettre en œuvre les meilleures pratiques en rapport avec la qualité de l'air aux abords des aéroports, ces éléments d'orientation sont nécessairement volumineux. Certains États pourraient donc avoir déjà mis en place certains, ou beaucoup, des processus et des mesures qui y sont présentés. Les présents éléments d'orientation pourront dans ces cas être utilisés pour les compléter ou comme référence additionnelle.

1.1.4 Vu l'ampleur de ces éléments d'orientation, il ne peut en être attendu qu'ils apportent le niveau de détail nécessaire pour aider les États à traiter chaque problème qui pourrait se poser, car des situations juridiques, techniques ou politiques particulières peuvent être associées à des aéroports et/ou à la qualité de l'air à certains endroits. Comme c'est le cas pour tous éléments d'orientation de large application, il est conseillé que les États les utilisent comme référence, à adapter aux circonstances particulières.

1.2 LE COMITÉ SUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT EN AVIATION

1.2.1 L'OACI s'occupe depuis de nombreuses années des émissions liées aux aéroports. Le Comité de la protection de l'environnement en aviation (CAEP) de l'OACI et son prédécesseur, le Comité des émissions des moteurs d'aviation, en particulier, se sont constamment occupés, depuis la fin des années 1970, des normes en matière d'émissions pour les nouveaux types de moteurs. Les dispositions de l'OACI sur les émissions des moteurs, dans le Volume II de l'Annexe 16 à la Convention relative à l'aviation civile internationale (« Convention de Chicago »), sont un des principaux résultats de leurs travaux. Ces dispositions portent, entre autres questions, sur les décharges de carburant liquide, la fumée et les principales émissions d'échappement gazeuses des réacteurs : hydrocarbures (HC) non brûlés, oxydes d'azote (NO_x) et monoxyde de carbone (CO). Concrètement, elles établissent des limites aux quantités de fumée et d'émissions gazeuses de ces trois polluants dans l'échappement de la plupart des types de moteurs civils. En plus de l'innovation technologique et des normes de certification, le CAEP a poursuivi deux autres approches possibles pour s'attaquer aux émissions de l'aviation :

- a) mesures d'exploitation alternatives aux aéroports ;

b) utilisation possible d'options de réduction des émissions basées sur le marché.

1.2.2 L'OACI a produit aussi plusieurs documents en rapport avec les émissions de l'aviation, notamment le Doc 9184 et le Doc 10013, ce dernier ayant remplacé la Circulaire 303.

1.2.3 Le Doc 9184, Partie 2 — *Utilisation des terrains et gestion de l'environnement* donne des orientations sur l'aménagement du territoire au voisinage des aéroports et contient des informations sur les options existantes pour réduire les émissions liées aux aéroports et améliorer l'efficacité énergétique des moteurs d'aviation.

1.2.4 Le Doc 10013 recense et examine diverses possibilités opérationnelles et techniques permettant de réduire la consommation de carburant des moteurs d'aviation, et par conséquent les émissions associées aux activités d'aviation civile. Le manuel s'appuie sur les renseignements qui figuraient dans la Circulaire 303.

1.2.5 Dans le contexte décrit ci-dessus, le CAEP a constaté l'existence d'un besoin complémentaire d'élaboration d'éléments d'orientation pour aider les États à mettre en œuvre les meilleures pratiques en matière d'évaluation de la qualité de l'air dans les zones aéroportuaires, ce qui est le but du présent manuel.

1.3 HISTORIQUE

1.3.1 L'intérêt pour les émissions de polluants atmosphériques des aéronefs et des aéroports n'a cessé de croître depuis l'augmentation considérable du trafic de turboréacteurs commerciaux dans les années 1970. Par exemple, les émissions des aéronefs produisent des polluants atmosphériques tels que NO_x, HC et particules fines (PM), qui, à leur tour, peuvent faire intervenir des problèmes environnementaux plus larges en rapport avec l'ozone (O₃) au niveau du sol, les pluies acides et les changements climatiques, et peuvent présenter des risques pour la santé publique et l'environnement. Contrairement à la plupart des modes de transport, les aéronefs parcourent de grandes distances à diverses altitudes, engendrant des émissions qui peuvent avoir une incidence sur la qualité de l'air aux niveaux local, régional et global.

1.3.2 L'OACI reconnaît que les sources d'émissions liées aux aéroports peuvent émettre des polluants susceptibles de contribuer à la dégradation de la qualité de l'air des localités riveraines. Ainsi, des programmes et des normes de qualité de l'air, nationaux et internationaux, exigent constamment que les autorités aéroportuaires et les organes gouvernementaux s'occupent de problèmes de qualité de l'air aux abords des aéroports. De même, il faut aussi porter attention à d'autres incidences environnementales aéroportuaires possibles, associées au bruit, à la qualité de l'eau, à la gestion des déchets, à la consommation d'énergie et à l'écologie locale aux abords des aéroports, pour aider à assurer le bien-être à court et à long terme des travailleurs et des usagers des aéroports et des collectivités riveraines.

1.3.3 Il est à noter que d'importantes améliorations ont été apportées au cours des deux dernières décennies en ce qui concerne l'efficacité énergétique des aéronefs et d'autres améliorations techniques destinées à réduire les émissions. Ces avancées pourraient cependant être contrebalancées dans l'avenir par la croissance prévue des opérations aéroportuaires et autres activités d'aviation. Les aéronefs n'étant que l'une des sources d'émissions à un aéroport, il est également considéré essentiel de gérer efficacement les émissions provenant des installations des terminaux, de maintenance et de chauffage, du matériel de servitude au sol (GSE) et des divers moyens de transport au sol circulant autour, à destination et en provenance des aéroports. Optimiser la conception, l'agencement et l'infrastructure des aéroports, modifier les pratiques opérationnelles pour les rendre plus économes, équiper en rattrapage le parc GSE de technologies sans émissions ou à faibles émissions, et promouvoir d'autres modes de transport au sol, respectueux de l'environnement, sont certaines des opportunités actuelles que peuvent adopter ou appliquer les aéroports et le reste de l'industrie de l'aviation pour aider à atteindre ces objectifs et encourager un développement durable dans le transport aérien commercial.

1.4 ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR

1.4.1 Dans la plupart des cas, la qualité de l'air est réglementée par une combinaison de réglementations¹ nationales, régionales et/ou locales qui établissent des normes relatives aux sources d'émissions et/ou aux niveaux ambiants (c.-à-d. à l'air libre) de divers polluants et définissent les procédures pour réaliser la conformité à ces normes. À titre d'exemple, la Figure 1-1 montre les relations entre les exigences de principe d'une évaluation de la qualité de l'air reflétant ce cadre juridique.

1.4.2 Comme on l'a vu, les deux principaux domaines d'une évaluation de la qualité de l'air sont :

- a) les inventaires d'émissions ;
- b) la modélisation de la dispersion de concentrations de pollution.

Un inventaire des émissions donne la masse totale d'émissions rejetées dans l'environnement et sert de base pour la communication, la conformité et la planification de mesures d'atténuation ; il peut aussi fournir des entrées pour la modélisation des concentrations de pollution. Pour relier les émissions aux concentrations de pollution, il faut évaluer aussi leur distribution spatio-temporelle. Cette approche combinant l'utilisation d'inventaires des émissions et de modèles de la dispersion permet d'évaluer les concentrations de pollution historiques, existantes et/ou futures aux abords des aéroports ou en provenance de sources d'émissions déterminées.

1.4.3 Les concentrations de pollution existantes peuvent aussi être évaluées en mesurant (p. ex. par échantillonnage et surveillance) les conditions ambiantes, bien que cette méthode d'évaluation puisse inclure des contributions provenant d'autres sources, proches ou éloignées, y compris des sources non liées à l'aéroport. En fonction de la tâche particulière, les résultats de la modélisation sur ordinateur et les mesures de concentration ambiante pourront être utilisés pour évaluer les conditions existantes ou historiques. Par contre, les conditions futures ne pourront être simulées qu'en utilisant la modélisation sur ordinateur.

1.4.4 L'inventaire des émissions, la modélisation de la concentration et les éléments de mesure de concentration ambiante d'une évaluation de la qualité de l'air pourront être utilisés séparément ou en combinaison pour contribuer au processus de compréhension, de compte rendu, de conformité et/ou de planification d'atténuations, en apportant des informations sur les conditions générales ainsi que sur les contributions de chacune des sources.

1.4.5 Des mesures ultérieures d'atténuation ou d'autres mesures mises en œuvre pour améliorer la qualité de l'air (en tenant dûment compte des relations avec le bruit, principalement, et d'autres incidences environnementales aux aéroports) pourront avoir des résultats bénéfiques sur la masse totale d'émissions, les résultats des modèles de concentration et les concentrations mesurées.

1. Les présents éléments d'orientation utilisent en général le terme « réglementations » pour se référer à des lois et réglementations nationales (qui peuvent comprendre des règlements nationaux adoptés pour prendre en compte les normes de l'OACI sur les émissions des moteurs d'aviation) et le terme « normes » (*standards*) lorsqu'il s'agit des normes de l'OACI relatives aux émissions des moteurs. Certaines réglementations nationales relatives à la qualité de l'air, cependant, sont elles-mêmes appelées « standards » (p. ex. les *National Ambient Air Quality Standards*, ou NAAQS, aux États-Unis). Lorsque les organismes nationaux désignent leurs propres dispositions sur la qualité de l'air comme « standards », c'est cette terminologie qui sera employée dans les présents éléments d'orientation lorsqu'il y est question de ces dispositions. Pour éviter toute confusion dans la terminologie, les normes de l'OACI relatives aux émissions des moteurs seront expressément désignées dans ces éléments d'orientation comme normes « OACI ».

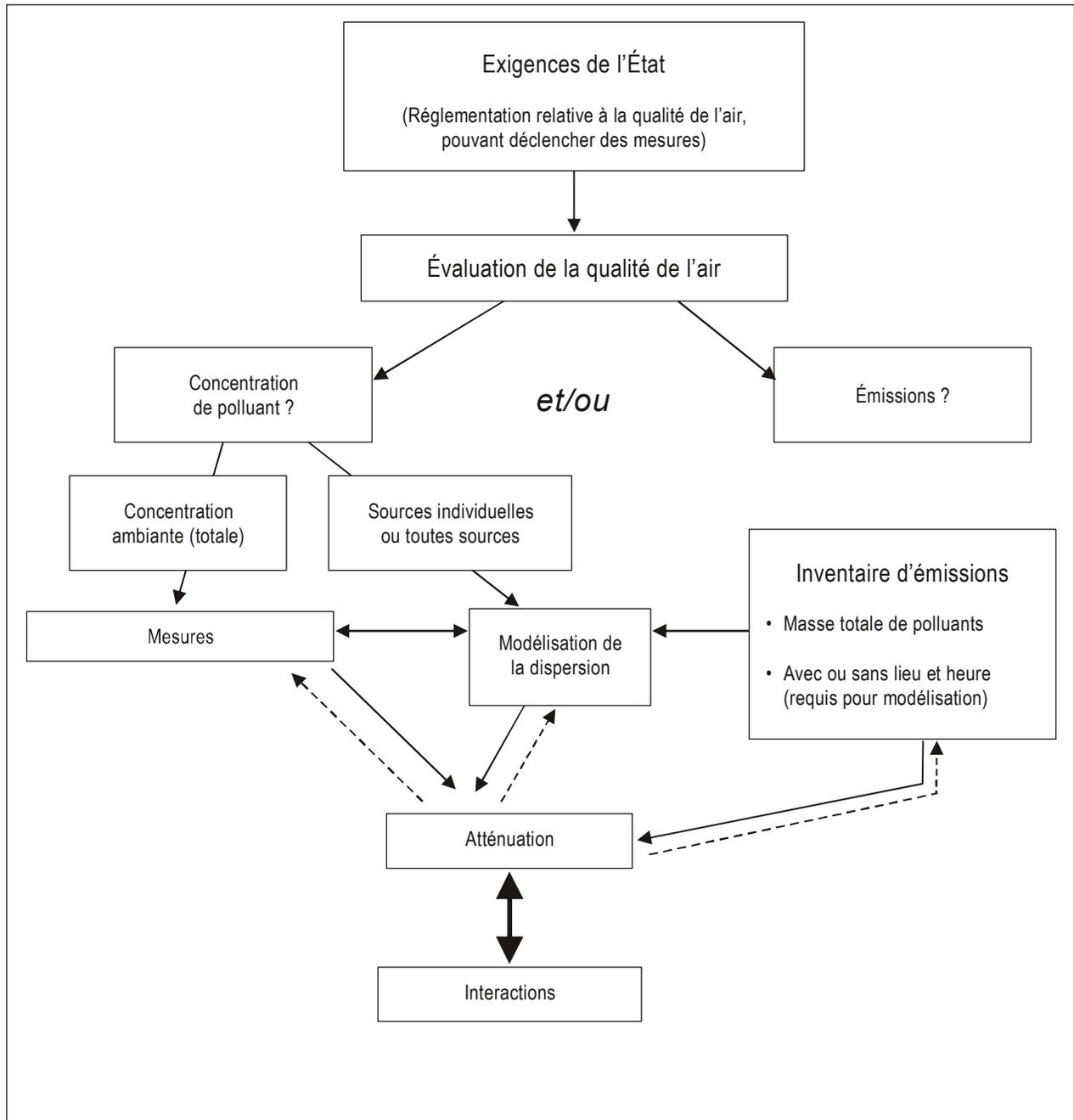


Figure 1-1. Éléments de la qualité de l'air locale et leurs interactions

Chapitre 2

CADRE RÉGLEMENTAIRE ET INCITATIONS À AGIR

2.1 INTRODUCTION

2.1.1 Les États (et leurs délégués) adoptent depuis longtemps des réglementations relatives à la qualité de l'air locale pour protéger la santé publique et l'environnement naturel. La qualité de l'air locale peut être généralement décrite comme l'état de l'air ambiant auquel sont typiquement exposés les humains et la nature. Dans la plupart des cas, la détermination de la qualité de l'air est basée sur la concentration de polluants (de sources naturelles aussi bien qu'anthropiques, c.-à-d. provenant d'activités humaines). Ces concentrations sont comparées à des réglementations et à des normes établies pour définir les niveaux acceptables de qualité de l'air locale, ainsi que les mesures nécessaires pour réaliser ces niveaux. Beaucoup de questions propres à la qualité de l'air locale sur les aéroports-pivots et à leurs abords sont soumises à ces réglementations. Dans ce contexte, un ensemble de pressions diverses s'exerce sur les États en rapport avec la qualité de l'air aux abords des aéroports, notamment :

- a) dégradation de la qualité de l'air locale entraînant une réduction des marges par rapport aux réglementations existantes ;
- b) prise de conscience accrue des incidences sanitaires, suscitant l'introduction de nouvelles réglementations, incluant l'addition de nouvelles espèces de polluants ;
- c) contraintes sur le développement, résultant de limitations imposées par la nécessité de respecter les réglementations relatives à la qualité de l'air locale ;
- d) attentes grandissantes du public en ce qui concerne les niveaux de qualité de l'air locale ;
- e) préoccupations grandissantes du public sur les effets de l'aviation.

2.1.2 Ces pressions sont à considérer aussi dans le contexte plus large d'autres pressions sur l'aviation — notamment l'incidence que les émissions de l'aviation pourraient avoir sur le climat, les incidences du bruit des aéronefs sur les riverains des aéroports et la situation économique du secteur de l'aviation. Ces pressions supplémentaires amènent leurs propres mesures économiques et réglementaires, qui, dans la plupart des cas, posent des problèmes de compensations tant entre elles qu'avec la qualité de l'air locale aux abords des aéroports.

2.1.3 Généralement, les environnements aéroportuaires incluent un ensemble complexe de sources d'émissions comprenant les aéronefs, le matériel de servitude au sol, les bâtiments de l'aérogare et le trafic de véhicules au sol. Pour tout État donné, un ensemble complexe de réglementations et de normes existantes y est souvent associé, couvrant beaucoup des sources d'émissions présentes aux aéroports (p. ex. réacteurs des aéronefs, moteurs des véhicules de transport, groupes électrogènes/centrales thermiques et installations de maintenance des aéronefs). Dans ce contexte, les réglementations portant sur les sources autres que les aéronefs sont généralement établies à l'échelon national. Par contre, les normes d'émission pour les moteurs d'aviation sont convenues à l'échelon international par le biais du CAEP de l'OACI et sont par la suite adoptées et transposées en réglementations intérieures par chaque État membre de l'OACI.

2.1.4 Dans la plupart des pays, les autorités nationales établissent les principes directeurs et les objectifs en vue d'atteindre et maintenir des conditions acceptables de qualité de l'air. Ensemble avec les autorités régionales et locales,

elles doivent aussi s'acquitter de tâches importantes consistant à mesurer la qualité de l'air, mettre en œuvre des plans et des programmes de mesures correctives et informer le public des questions en rapport avec la qualité de l'air locale.

2.2 INCITATIONS À AGIR

2.2.1 Les réglementations relatives à la qualité de l'air locale ont été, dès leurs débuts, inspirées par la nécessité de protéger la santé publique et l'environnement naturel. Des exemples précoces de réglementations relatives à la qualité de l'air locale sont notamment celles qui avaient instauré dès 1881 des contrôles de la qualité de l'air locale à Chicago et Cincinnati. Ces premières réglementations étaient axées sur les produits les plus visibles de la combustion des carburants et des déchets, à savoir la fumée et les particules. Dès le milieu du 20^e siècle, la réglementation des émissions visant à réduire la fumée passait de l'échelon local à l'échelon national avec l'introduction de lois nationales sur la qualité de l'air dans l'Union des républiques socialistes soviétiques (URSS) (1949), aux États-Unis (1955) et au Royaume-Uni (1956).

2.2.2 Dans le cas des réglementations de 1956 au Royaume-Uni, le *Great Smog* de 1952 fut le facteur qui incita à prendre des mesures législatives, face à la hausse significative du taux de mortalité de personnes souffrant de maladies respiratoires et cardio-vasculaires qu'entraîna ce brouillard mortel. Le *Clean Air Act* de 1956 qui en résulta était axé sur la réduction de la pollution par la fumée associée à des sources industrielles.

2.2.3 Aux États-Unis, l'*Air Pollution Control Act* de 1955 ne fut que le début d'une série de mesures prises pour améliorer la qualité de l'air locale, touchant un large éventail d'industries. Des révisions majeures en 1963 aboutirent au *Clean Air Act*, avec des réglementations supplémentaires portant sur le transport à grande distance, la production d'énergie et diverses activités industrielles. En même temps, le gouvernement fédéral établissait la *United States Environmental Protection Agency* (EPA des États-Unis), tandis que les normes *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS) furent introduites en 1971, établissant une réglementation sur la qualité de l'air à l'échelon national qui couvrait six polluants¹ et stipulant que ces normes devaient être respectées dès 1975. En 1990, des amendements de grande portée apportés au *Clean Air Act* ont rendu ces exigences beaucoup plus rigoureuses.

2.2.4 De telles exigences légales, établies pour la protection de la santé publique et de l'environnement, ont été un facteur incitant à agir pour de nombreuses industries (dont l'aviation) et ont créé la nécessité de se conformer aux réglementations. Dans certains cas, la conformité en matière de qualité de l'air dans les exposés et les évaluations d'incidences environnementales est devenue une considération obligatoire dans les initiatives de développement.

2.2.5 Parallèlement aux réglementations relatives à la qualité de l'air locale, la sensibilisation grandissante du public et les attentes en matière de qualité de l'air exprimées par le biais des médias, des administrations et des groupes de parties prenantes ont aussi exercé des pressions sur le secteur aérien. De telles initiatives ont aussi été des facteurs incitant l'industrie de l'aviation à fournir des informations et, s'il y avait lieu, à s'efforcer de répondre à ces attentes.

2.2.6 La réduction des émissions des moteurs d'aviation est parmi les options ouvertes à l'aviation pour répondre à de telles incitations à agir. En 1971, l'OACI publiait l'Annexe 16, *Protection de l'environnement*, Volume I — *Bruit des aéronefs*, suivi en 1981 du Volume II — *Émissions des moteurs d'aviation*. Ces normes couvraient l'interdiction des décharges de carburant liquide et la limitation des émissions de HC, de CO, de NO_x et de fumée, cette dernière sous la forme d'un indice de fumée (SN). De nouvelles normes concerneront le dioxyde de carbone (CO₂) et les particules non volatiles (nvPM) (masse et nombre).

1. Monoxyde de carbone (CO), plomb (Pb), dioxyde d'azote (NO₂), particules, ozone et dioxyde de soufre (SO₂). Les particules sont subdivisées en particules de diamètre inférieur ou égal à 10 microns (PM₁₀) et inférieur ou égal à 2,5 microns (PM_{2,5}).

2.2.7 Les normes de l'OACI relatives aux émissions des moteurs sont appliquées, par le biais de processus nationaux et multinationaux de certification, aux turboréacteurs et aux réacteurs à turbosoufflante de plus de 26,7 kilonewtons (kN) de poussée, mais pas aux turbopropulseurs, turbomoteurs, moteurs à piston ou groupes auxiliaires de puissance (GAP). Les normes de l'OACI sont basées sur la performance de moteurs non installés, mesurée par rapport à un cycle d'atterrissage et de décollage (CAD) idéalisé jusqu'à 914 m (3 000 ft) au-dessus du niveau du sol (AGL). Les procédures de certification sont exécutées sur un moteur unique dans une cellule d'essai, par référence au niveau statique de la mer et aux conditions de l'atmosphère type internationale (ISA). Il est largement reconnu que les normes de l'OACI utilisées dans la certification diffèrent des émissions réelles des aéronefs, qui se produisent en des lieux et dans des situations opérationnelles spécifiques. Néanmoins, certains États utilisent actuellement les normes de l'OACI comme valeurs par défaut à certaines fins d'évaluation de la qualité de l'air locale. C'est pourquoi un des principaux objectifs du présent document est d'apporter une méthodologie qui produise une évaluation des émissions réelles des moteurs d'aviation, plus précise que l'emploi de normes de l'OACI par défaut.

2.2.8 Il est à noter enfin que la technologie des moteurs d'aviation est parvenue à un stade où interviennent moins d'innovations réduisant à la fois le bruit et les émissions. Avec les pressions persistantes pour la réduction des incidences environnementales des aéronefs, il y a des besoins élargis d'évaluation des compensations entre la réduction du bruit et des émissions et l'effet sur les émissions de gaz à effet de serre [notamment les émissions de CO₂, associées à la combustion du carburant], chaque fois qu'un nouvel aéronef est conçu et mis en exploitation.

2.3 RÉGLEMENTATIONS SUR LA QUALITÉ DE L'AIR LOCALE ET RÉGLEMENTATION SUR LES POLLUANTS

2.3.1 Les réglementations sur la qualité de l'air locale portent souvent sur des espèces d'émissions spécifiques, ainsi que sur les polluants secondaires que ces émissions peuvent former. Il en résulte que ces réglementations peuvent varier et être adaptées aux conditions et aux priorités locales dans les pays où elles sont appliquées. Un exemple en est la différence dans l'emphase que placent l'Union Européenne (UE) et les États-Unis sur le NO₂, les NO_x et l'ozone (O₃) : de nombreux États de l'UE se préoccupent davantage des concentrations de NO₂, tandis que les États-Unis et d'autres se soucient plus des émissions de NO_x, qui sont un précurseur de l'O₃.

2.3.2 Les États ont aussi, par le passé, élaboré leurs propres réglementations et/ou directives sur la qualité de l'air locale, et il existe donc dans le monde différents critères réglementaires nationaux. Le Tableau 2-1, bien que n'étant pas complet dans sa couverture, est présenté ici pour montrer la variabilité qui existe entre États pour un certain nombre de polluants atmosphériques. Au-delà des détails présentés dans ce tableau, cette variabilité s'étend aussi à la manière dont les normes chiffrées sont appliquées. Par exemple, certaines réglementations sont traitées comme des niveaux acceptables maximaux, tandis que d'autres spécifient le nombre de dépassements acceptables. Le tableau inclut aussi, à des fins de comparaison, la Directive-cadre de l'UE sur la qualité de l'air et les directives de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Il est à noter que les réglementations sur la qualité de l'air locale sont généralement exprimées en microgrammes par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) et pour une durée spécifiée (généralement heure, jour ou année), par polluant.

2.3.3 Le Tableau 2-1 présente un « instantané » des réglementations des États sur la qualité de l'air en 2005, et il importe de noter que les réglementations peuvent changer périodiquement. Un coup d'œil sur ce tableau montre que les réglementations varient selon les pays et peuvent être plus ou moins strictes que les directives de l'OMS. Dans le cas du NO₂, par exemple, la directive de l'OMS prévoit 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une période horaire, mais la fourchette de variation pour ce polluant va de 75 à 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour les particules de diamètre inférieur ou égal à 10 microns (PM₁₀) l'OMS n'a pas émis de directives, mais les réglementations varient entre 50 et 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une période de 24 heures. Pour l'ozone (O₃), par contre, il n'y a pas de directive OMS par heure ou par 24 h, mais une directive de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 8 heures, tandis que les réglementations nationales varient entre 120 et 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tableau 2-1. Réglementations relatives à la qualité de l'air locale dans différents pays

Pays/ Organisation	Réglementation	Polluant (période de calcul de la moyenne)												
		Dioxyde de soufre			Dioxyde d'azote			Monoxyde de carbone		Ozone			PM ₁₀	
		1 h*	24 h	Année	1 h	24 h	Année	1 h	8 h	1 h	8 h	24 h	24 h	Année
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
OMS	Lignes directrices de l'OMS (actualisées en 2005)	—	20	—	200	—	40	30	10	—	100	—	50	20
UE	Directive-cadre concernant la qualité de l'air	350	125	—	200	—	40	—	10	—	120	—	50	40
Afrique du Sud	Loi sur la qualité de l'air (N° 39 de 2004) (SANS 1929:2011)	350	125	50	200	—	40	30	10	—	120	—	75	40
Australie	<i>National Environmental Protection Measure for Ambient Air Quality</i>	520	200	50	220	—	50	—	10	200	—	—	50	—
Brésil	Résolution 03 du CONAMA (Conseil national pour l'environnement), juin 1990 — Normes nationales de qualité de l'air	—	365	80	320	—	100	40	10	160	—	—	150	50
Canada	Objectifs nationaux de qualité de l'air ambiant, Loi canadienne sur la protection de l'environnement, juin 2000	900	300	60	400	200	100	35	15	160	—	50		
Chine	Réglementation sur la qualité de l'air ambiant GB3095 — 2012	150	50	20	200	80	40	10	—	160	100	—	50	40
États-Unis	NAAQS (2008-2011)	210	—	—	200	—	100	43	10	—	160	—	150	50
Inde	Normes nationales sur la qualité de l'air ambiant, notifiées le 18 novembre 2009	—	80	50	—	80	40	4	2	—	100	—	100	60
Japon	Ministère de l'environnement – Normes de qualité environnementales	260	100	—	75-110	—	—	12	25	120	—	—	—	—
Suisse	Ordonnance de protection de l'air <i>Luftreinhalteverordnung</i> (LRV)	—	100	30	—	80	30	—	—	120	—	—	50	20

µg/m³ = microgrammes par mètre cube.
* Périodes de mesure des concentrations moyennes de polluant.

2.3.4 La capacité de se conformer à ces directives et réglementations nationales dépend fortement de variables locales, notamment les conditions météorologiques, les concentrations de fond, la densité de la population, les types d'industries et leur taille, et les types de technologies de réduction des émissions disponibles dans la région, disponibilité qui pourrait être limitée par des critères de moyens financiers. Les directives de l'OMS recommandent que les réglementations couvrent des périodes déterminées, de 1 heure, 8 heures, 24 heures ou une année.

2.3.5 Il y a aussi des parties du monde qui n'ont pas de réglementations sur la qualité de l'air. Dans certains pays en développement, ce n'est que récemment qu'une urbanisation et une industrialisation rapides ont entraîné l'intensification de la pollution de l'air et une dégradation de la qualité de l'air locale à des niveaux pouvant justifier une attention particulière ou des mesures correctives.

2.3.6 Les recommandations d'Action 21², plan d'action pour le 21^e siècle du Sommet de Rio de 2002 de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, ont abouti à l'établissement d'un Cadre stratégique pour la gestion de la qualité de l'air en Asie, visant à apporter une approche régionale de l'amélioration de la qualité de l'air locale pour les villes, en facilitant l'établissement de priorités en matière de qualité de l'air locale et en donnant une orientation sur le développement institutionnel et le renforcement des capacités. Le Cadre stratégique est proposé par le projet APMA (Pollution de l'air dans les mégapoles d'Asie) et l'initiative *Clean Air Initiative for Asian Cities*. Le projet APMA, projet conjoint du Programme des Nations Unies pour l'environnement, de l'OMS, de l'Institut de l'environnement de Stockholm et de l'Institut coréen de l'environnement, couvre les mégapoles d'Asie (définies comme étant des agglomérations de plus de dix millions d'habitants³). Le Cadre stratégique recommande d'utiliser les lignes directrices de l'OMS sur la qualité de l'air pour établir les normes et les périodes servant au calcul des moyennes.

2.3.7 Dans de nombreux pays, les autorités régionales et locales exercent une surveillance de la qualité de l'air locale, mais il leur incombe aussi la tâche importante de prendre des mesures correctives et de mettre en œuvre des plans de gestion et d'autres programmes pour satisfaire aux exigences des réglementations sur la qualité de l'air.

2.3.8 L'urbanisation croissante est une préoccupation dans de nombreux pays et on observe une tendance à ce que les aéroports attirent de nouvelles zones de développement. Certains États utilisent les mesures existantes d'aménagement du territoire pour gérer cette croissance afin d'empêcher qu'un développement incompatible dans les campagnes environnantes n'empiète sur les limites aéroportuaires. Assurer un tampon pour le bruit et les émissions liés à l'activité aéroportuaire est aussi pratique courante. Pour planifier les permis de création ou d'expansion d'aéroports, une consultation avec les principaux acteurs et les décideurs stratégiques aux échelons national, régional et local est nécessaire, ce qui fera souvent intervenir les autorités des chemins de fer, des ponts et chaussées et de l'aménagement du territoire.

2.3.9 Au Royaume-Uni par exemple, le gouvernement, tout en étant engagé vis-à-vis de la réglementation obligatoire de l'UE en matière de qualité de l'air, a aussi fixé des objectifs nationaux dans sa Stratégie pour la qualité de l'air. Ces objectifs ont un statut juridique différent de celui des Valeurs limites de l'UE, mais font partie d'une entente de service public conjointe *Department for Transport/Department for Environment, Food, and Rural Affairs (DTT/DEFRA)* et aident à étayer les décisions concernant le développement futur de l'aviation au Royaume-Uni.

2.3.10 Depuis décembre 1997, chaque autorité locale au Royaume-Uni mène un programme d'étude et d'évaluation de la qualité de l'air locale dans son secteur. Cela implique que l'on mesure la pollution de l'air et que l'on tente de prévoir son évolution au cours des quelques prochaines années. L'objectif des travaux est d'assurer l'atteinte des objectifs nationaux de qualité de l'air sur tout le territoire du Royaume-Uni. Si une autorité locale repère des zones où les objectifs ne sont guère susceptibles d'être atteints, elle devra y déclarer une Zone de gestion de la qualité de l'air. Une telle zone pourrait s'étendre seulement à une ou deux rues ou être beaucoup plus étendue. L'autorité locale pourra établir ensuite un Plan d'action pour la qualité de l'air locale, qu'il s'agit d'améliorer.

2.3.11 Dans l'Union européenne, la qualité de l'air locale est réglementée aussi par la Directive 2008/50/EC, qui regroupe la plupart de la législation existante [sauf celles sur les métaux lourds et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)] dans une seule directive couvrant le SO₂, le CO, le NO₂ et le NO_x, l'O₃, les PM₁₀, les nouvelles normes pour les PM_{2,5}, le benzène et le Pb. La Directive est conforme aux recommandations de l'OMS pour l'Europe⁴.

2.3.12 Au fil du temps, beaucoup de grands aéroports-pivots existants se sont développés à partir d'aéroports plus petits, et leur emplacement et la proximité de zones urbaines/ résidentielles ont été difficiles à gérer. À Hong Kong, par exemple, l'ancien aéroport de Kai Tak, dont l'approche au-dessus de zones densément peuplées était un extrême défi, a été remplacé par une installation entièrement nouvelle. Le nouvel Aéroport international de Hong Kong a été délibérément

2. Agenda 21: Earth Summit — The United Nations Programme of Action from Rio, avril 1993, ISBN : 9211005094.

3. Bangkok, Beijing, Calcutta, Chongqing, Guangzhou, Hong Kong, Katmandou, Manille, Mumbaï, New-Delhi, Osaka, Séoul, Shanghai, Singapour, Taipei et Tokyo.

4. *Air Quality Guidelines for Europe*, 2nd Edition, Publications régionales de l'OMS, Série européenne, n° 91.

construit à l'écart des grands centres de population, afin que les aéronefs n'aient pas à décoller et atterrir au-dessus de zones urbaines densément peuplées, et les nouvelles approches de nuit se font au-dessus de l'eau plutôt qu'au-dessus de centres urbains. Cela est avantageux dans la perspective du bruit et des émissions locales, bien que, dans le cas particulier de Hong Kong, le Conseil consultatif pour l'environnement n'ait pas trouvé de relation entre la relocalisation de l'aéroport et la qualité de l'air locale⁵. Là où les régions ont l'espace, ou peut-être la géographie, permettant une telle planification et peuvent par la suite éviter les empiètements d'un développement incompatible, cela est nettement avantageux. D'autres réductions des émissions locales ont été réalisées grâce à la construction d'un vaste réseau de transport public, de sorte que les véhicules routiers ne doivent pas être nécessairement le principal mode d'accès des voyageurs à l'aéroport.

2.3.13 L'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA des États-Unis), comme on l'a vu, réglemente la qualité de l'air locale par le *Clean Air Act* et les NAAQS. Une zone où les concentrations de polluants excèdent les NAAQS, ou qui contribue à un dépassement des normes dans une zone voisine, est désignée comme « *non-attainment area* ». La surveillance est utilisée pour déterminer la conformité aux NAAQS et établir les limites géographiques de ces zones de « non-atteinte ».

2.3.14 La conséquence d'une non-atteinte est que les États doivent soumettre des Plans nationaux de mise en œuvre (*State Implementation Plans*, SIP) répertoriant des mesures spécifiques pour améliorer la qualité de l'air locale et assurer l'atteinte des NAAQS. Les entités réglementées dans la zone de non-atteinte, ainsi que les autorités de l'aménagement du territoire et des transports, doivent ensuite se conformer au SIP. À défaut de le faire, elles encourent des sanctions imposées par l'EPA des États-Unis, généralement sous forme de pénalités administratives et/ou d'interdiction de développement plus poussé et de construction d'une nouvelle source d'émissions.

2.3.15 Outre les PM₁₀, l'EPA des États-Unis a aussi une NAAQS réglementant les particules fines, d'un diamètre inférieur ou égal à 2,5 microns (PM_{2,5}). La réglementation pour les PM_{2,5} porte sur une période de 24 heures et des moyennes annuelles. Elle ne permet qu'un seul dépassement de la norme pour 24 heures au cours d'une année en moyenne sur trois ans. Il est à noter qu'il y avait, au moment de l'introduction de la réglementation sur les PM_{2,5}, de plus nombreux aéroports commerciaux dans les zones de non-atteinte pour les PM_{2,5} (53, sans inclure les aéroports d'aviation générale et aéroports militaires) que dans les zones de non-atteinte pour les PM₁₀ (38).

2.4 NORMES ET RÉGLEMENTATIONS SUR LES ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION ET DES VÉHICULES ROUTIERS

2.4.1 Actuellement, les réglementations et normes relatives aux aéronefs et aux autres sources aéroportuaires d'émissions se classent généralement en deux catégories distinctes :

- a) **Mesures établissant des limites pour des sources particulières d'émissions.** Celles-ci incluent aussi bien les normes de l'OACI relatives aux émissions des moteurs d'aviation (adoptées dans les réglementations nationales et multinationales) que les mesures nationales établissant des limites pour les sources autres que les aéronefs, telles que les installations stationnaires (chaudières, génératrices, incinérateurs) et véhicules routiers ;
- b) **Réglementations nationales** (appelées « normes/standards » dans certains pays) établissant des concentrations ambiantes de polluants pour les conditions de qualité de l'air locale (p. ex. valeurs limites de qualité de l'air locale).

2.4.2 Cette distinction est importante ; en effet, même si les différentes sources d'émissions opérant à un certain aéroport ou à ses abords respectent les limites applicables à ce type de source (y compris les normes OACI pour moteurs

5. ACE Paper 25/2004, *Impact of Aircraft Emissions on Air Quality*.

d'aviation), les seuils locaux de concentration de polluants pourraient quand même n'être pas respectés. Cela peut être dû à divers facteurs propres à chaque localité, notamment les volumes de trafic routier et aérien, la topographie, les conditions météorologiques à court terme et la proximité d'autres sources d'émissions et/ou des niveaux élevés de pollution de fond.

2.4.3 Les études aéroportuaires confirment que les aéronefs continuent d'être un relativement petit contributeur à la pollution régionale, bien que les apports de NO_x liés aux aéronefs pourraient s'accroître avec la progression du trafic et alors que des sources d'émissions autres que les aéronefs deviennent progressivement plus propres. C'est pourquoi, même si les réductions des émissions des aéronefs (grâce à des mesures opérationnelles et de circulation aérienne et/ou à des normes OACI plus rigoureuses applicables aux moteurs) peuvent améliorer la qualité de l'air locale aux abords des aéroports, il importe de prendre aussi en considération les émissions des véhicules routiers, tant régionaux que locaux. Dans ce contexte, il est à prévoir que la performance en matière d'émissions des nouveaux véhicules routiers va s'améliorer considérablement au cours des prochaines années. En fonction des circonstances dans chaque localité, la proportion relative des émissions totales liées aux aéroports qui est attribuable aux aéronefs pourrait augmenter en conséquence.

2.4.4 Le caractère international de l'aviation commerciale a donné lieu à l'élaboration de normes de certification internationales uniformes, mises au point par le CAEP et adoptées par le Conseil de l'OACI. Les nouveaux moteurs d'aviation certifiés après la date d'entrée en vigueur d'une norme de l'OACI doivent être conformes à cette norme. Les normes de l'OACI en matière d'émissions des moteurs, figurant dans l'Annexe 16, Volume II, ont été initialement conçues pour répondre aux préoccupations concernant les émissions qui affectent la qualité de l'air locale aux abords des aéroports. Ces normes relatives aux moteurs établissent des limites pour les émissions de NO_x, de CO, de HC, de nvPM et de fumée pour un cycle CAD jusqu'à 914 m (3 000 ft) de hauteur au-dessus de la piste.

2.4.5 Les normes OACI pour les émissions de NO_x des moteurs d'aviation ont été rendues progressivement plus strictes depuis leur introduction. Adoptée en 1981, la norme OACI pour les NO_x a été rendue plus rigoureuse en 1993, lorsque l'OACI a réduit de 20 % les niveaux autorisés pour les moteurs nouvellement certifiés, applicable le 1^{er} janvier 1996, avec un arrêt de production fixé au 1^{er} janvier 2000. En 1999⁶, l'OACI a resserré la norme pour les NO_x de quelque 16 % en moyenne pour les moteurs nouvellement certifiés, à compter du 1^{er} janvier 2004. En 2005, le Conseil de l'OACI a adopté la décision du CAEP de rendre encore plus stricte la norme pour les NO_x, de sorte que la norme, dont la date d'application était fixée au 1^{er} janvier 2008, était 12 % plus stricte que les niveaux convenus en 1999. En 2011, l'OACI a de nouveau resserré la norme sur les NO_x, imposant une réduction de 15 % [à un rapport de pression global (OPR) de 30] avec une date d'application au 1^{er} janvier 2014. Pour les moteurs auxquels ils s'appliquent, l'effet combiné de ces changements est un resserrement de 50 % en moyenne par rapport aux normes OACI initiales pour les émissions de NO_x.

2.4.6 Ainsi, le régime de certification des émissions est devenu progressivement plus rigoureux, et les motoristes ont grandement amélioré la marge moyenne par rapport aux normes OACI. Cependant, la tendance à des moteurs plus efficaces, ayant un rapport de pression global (OPR) plus élevé, signifie que les émissions absolues de NO_x d'une flotte modernisée ne pourront pas être réduites du même pourcentage égal que le pourcentage de changement dans la norme OACI pour les NO_x.

2.4.7 L'application nationale des normes de l'OACI dans le processus de certification pour moteurs d'aviation emploie une approche « essais de type » (*type-testing*), impliquant que le motoriste démontre à l'autorité de certification, par l'utilisation d'un nombre limité de moteurs, que le type de moteur en attente de certification satisfait à la norme OACI. Il est ensuite délivré à tous les moteurs de ce type une certification d'émissions sur la base d'un type de moteur. Cette certification est valable pour la durée de vie de ce type de moteurs (une vérification des émissions n'est pas exigée, par exemple, après des procédures révision du moteur). Cependant, il ne se produit généralement qu'un léger changement dans les émissions au cours de la durée de vie du moteur, et il en sera question plus loin dans ce manuel.

6. Les réductions en pourcentage mentionnées sont des réductions à un OPR moteur de 30. Pour un autre OPR, les réductions pourront s'écarter de ces valeurs.

2.4.8 Il existe aussi des normes OACI concernant la réduction de la fumée à des niveaux non visibles, utilisant à nouveau une démonstration par le motoriste par des essais de type, comme décrit plus haut. Les normes OACI exigent également qu'il n'y ait aucune décharge de carburant par les moteurs de propulsion principaux pendant un arrêt normal du moteur. Il n'existe actuellement pas de normes OACI relatives aux groupes auxiliaires de puissance (GAP) des aéronefs.

2.4.9 Les sources d'émissions autres que les aéronefs aux aéroports et à leurs abords sont soumises à des limites applicables aux sources d'émissions qui sont déterminées à l'échelon national plutôt qu'à des normes établies par des organismes internationaux tels que l'OACI. Il importe de déterminer et de quantifier ces sources d'émissions clés autres que les aéronefs pour évaluer la qualité de l'air locale aux abords des aéroports. Elles comprennent d'autres activités liées à l'aéroport, tels les véhicules routiers qui accèdent à l'aéroport et circulent sur les routes proches, les véhicules opérant côté piste tels les tracteurs/pousseurs, les autres matériels de servitude au sol (GSE) et les véhicules de lutte contre les incendies, ainsi que d'autres sources dans la zone géographique considérée qui sont jugées pertinentes pour l'évaluation dans le cadre du régime réglementaire national.

2.4.10 Comme il a déjà été mentionné, les véhicules routiers motorisés sont généralement soumis dans une certaine mesure à une réglementation dans le cadre de régimes nationaux, mais avec des différences dans la manière dont ils sont réglementés. La réglementation visant les véhicules utilitaires lourds, par exemple, est généralement basée sur les caractéristiques de performance du moteur seulement (p. ex. en grammes par kilowatt-heure). Il en est ainsi en raison de la grande variété des véhicules (depuis les camions légers jusqu'aux véhicules articulés de 38 tonnes et aux bus) dans lesquels ces moteurs peuvent être utilisés. En ce sens, ces réglementations applicables aux sources d'émissions sont comparables aux normes OACI applicables aux moteurs d'aviation, basées elles aussi sur le type de moteur seulement. Pour les « véhicules routiers légers » (automobiles, camionnettes, etc.), des réglementations sont établies pour chaque combinaison véhicule/moteur. Il existe donc une myriade de réglementations couvrant les différentes exigences pour chaque combinaison de type de véhicule, type de carburant, type de moteur, puissance et dispositif de réduction des émissions. Dans l'UE, les voitures particulières sont réglementées sur la base de leurs émissions par kilomètre, des cycles de conduite⁷ conçus pour être représentatifs des conditions sur route et de la charge étant utilisés lors des essais. Les cycles d'essai sont, en fait, des traces de la vitesse du véhicule par rapport au temps, simulant un ensemble préétabli de conditions de conduite sur routes urbaines et rurales et autoroutes.

2.4.11 Le GSE et les véhicules opérant côté piste sont également soumis à un ensemble de réglementations sur les émissions en fonction de leurs caractéristiques d'utilisation (lourd/léger ou hors route/sur route). Par exemple, de nombreux GSE sont soumis à des normes pour « machines mobiles non routières » si le véhicule n'est jamais destiné à être utilisé sur route. Ces véhicules sont réglementés sur la base du moteur seulement, généralement avec un cycle d'essai représentant des modèles d'utilisation hors route. Les véhicules utilisés aux aéroports qui sont utilisés aussi dans un contexte routier normal, tels les véhicules d'extinction ou de livraison, sont soumis aux réglementations nationales des émissions sur route, comme on l'a vu plus haut.

2.4.12 Ainsi, alors que les aéronefs, véhicules routiers et véhicules côté piste sont réglementés selon des procédures spécifiées (reflétant, p. ex., des conditions en état de stabilité ou théoriquement représentatives soit pour le moteur, soit pour le véhicule dans son ensemble), les émissions réellement produites à un certain site présenteront probablement des différences par rapport à ces conditions. Par exemple, la gamme des véhicules routiers testés est relativement petite pour chaque combinaison véhicule/moteur ; il y a de larges écarts dans les conditions de circulation, le style de conduite et les conditions météorologiques — tout cela exerçant une influence sur les niveaux d'émissions réels.

7. Le « *New European Drive Cycle* ».

2.5 MODIFIER LES RÉGLEMENTATIONS ET OBJECTIFS TECHNOLOGIQUES

2.5.1 Les réglementations en matière de qualité de l'air locale sont encore en évolution et deviennent progressivement plus rigoureuses alors que les activités industrielles et les systèmes de transport se développent et que l'on comprend mieux les effets de la qualité de l'air locale sur la santé humaine. Le fait que les valeurs limites de l'UE pour le NO₂ aient été ramenées de 200 µg/m³ en 1985⁸ à 40 µg/m³ en 1999⁹, avec les réductions ultérieures prévues dans la Directive n° 99/30/CE du Conseil de l'UE, en est un exemple. Dans la Directive n° 99/30/CE du Conseil, la limite de 40 µg/m³ pour NO₂ en moyenne annuelle avait une marge de tolérance de 50 % lorsqu'elle a été introduite en 2001 ; cette marge a ensuite été réduite annuellement par pourcentages égaux jusqu'à une marge nulle en 2010, la rigueur s'étant ainsi accrue progressivement sur la période de dix ans. Vu l'expansion continue de la plupart des secteurs industriels, il faudra apporter des améliorations technologiques aux sources d'émissions liées aux aéroports si l'on veut respecter ces rigueurs accrues.

2.5.2 Au regard des pressions croissantes face aux effets possibles sur la qualité de l'air locale et sur le climat, alors qu'une croissance persistante du trafic aérien est prévue, les acteurs de l'aviation ont établi leurs objectifs et leur vision pour l'avenir des émissions des aéronefs à moyen et à long terme. Ceux qu'ont établis le Conseil consultatif pour la recherche aéronautique en Europe (ACARE) et l'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (NASA) aux États-Unis en sont deux exemples.

2.6 RÉPONSES RÉGLEMENTAIRES

2.6.1 L'introduction et l'expansion de tous les secteurs de l'industrie ont conduit à des réglementations sur la qualité de l'air locale, destinées à protéger la santé publique et l'environnement. La poursuite de la croissance et de l'expansion signifie qu'il va devenir de plus en plus nécessaire pour tous les secteurs d'améliorer leurs performances et de réduire soit leurs émissions nettes, soit leur taux d'émission en fonction de la productivité. C'est ce que l'on peut voir dans les normes sur les NO_x encore plus rigoureuses dans les secteurs tant des véhicules à moteur que de l'aviation. De plus, une compréhension toujours meilleure des incidences des divers polluants sur la santé publique signifie que l'emphase peut se déplacer d'un type d'émission ou d'un polluant à un autre. Jusqu'à présent, cela a conduit à une rigueur accrue pour les réglementations relatives à la qualité de l'air locale.

2.6.2 L'introduction et le resserrement des NAAQS des États-Unis et de la Directive-cadre de l'UE sur la qualité de l'air pour les PM₁₀ et les PM_{2,5} ainsi que les preuves de plus en plus nombreuses que les émissions de particules ultrafines (UFP) devraient être contrôlées, entraînent aussi une activité considérable et la prise de mesures de précautions au sein du groupe CAEP de l'OACI. Une condition préalable pour des normes OACI est de disposer d'un moyen d'exécuter des mesures reproductibles et fiables, qui a été élaboré maintenant pour les petites tailles de particules non volatiles de l'échappement des moteurs d'aviation. La première norme nvPM adoptée par l'OACI est applicable à compter du 1^{er} janvier 2020 à tous les réacteurs à turbosoufflante de production dont la poussée nominale est supérieure à 26,7 kN. Cette première norme sur les particules limite la concentration massique maximale de nvPM (qui est constituée principalement de carbone noir) et exige le compte rendu sur les indices d'émission en masse de particules (g/kg de carburant) et en nombre de particules (#/kg de carburant) pour les quatre modes CAD, notamment les valeurs d'indice d'émission maximales mesurées entre le ralenti et la poussée maximale. C'est le point de départ pour l'application de normes sur les émissions de particules basées sur la santé, fondées sur une mesure CAD. La mesure actuelle de l'indice de fumée pour les réacteurs à turbosoufflantes dont la poussée nominale est supérieure à 26,7 kN ne devrait plus être nécessaire à l'avenir. L'émission de précurseurs de particules volatiles provenant du soufre est une autre préoccupation.

8. Directive n° 85/203/CEE du 7 mars 1985 concernant les normes de qualité de l'air pour le dioxyde d'azote.

9. Directive n° 99/30/CE, maintenant Directive 2008/50/EC, du Conseil relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant.

Comme ceci peut être contrôlé par la teneur en soufre du carburant, des normes de l'OACI portant directement sur ces espèces d'émissions ne sont pas prévues.

2.6.3 Pour l'avenir, le CAEP envisage une rigueur accrue des normes de l'OACI relatives aux émissions des moteurs d'aviation par cycle d'atterrissage et de décollage (CAD). Les NO_x seront examinés en particulier, mais les réductions possibles seront évaluées par rapport aux compensations à réaliser avec les problèmes de bruit, de consommation de carburant et de coût. La technologie des moteurs est parvenue à un tel stade de maturité que peu d'avancées pourront encore être réalisées avec des effets entièrement bénéfiques. Pour toutes les modifications futures dans les normes de l'OACI relatives aux moteurs, il faudra donc une évaluation des compensations découlant de toute modification des réglementations et des conséquences en matière technologique. À l'appui de cette activité, le CAEP a établi un processus pour établir des objectifs technologiques à moyen terme (10 ans) et long terme (20 ans) pour les NO_x. Il utilisera ce processus pour déterminer dans quelle mesure des réductions des NO_x basées sur la technologie sont appropriées pour répondre aux besoins en matière de qualité de l'air locale, tout en prenant en considération les autres exigences environnementales et économiques et leurs interactions. De tels objectifs faciliteront des efforts concertés des gouvernements et de l'industrie sur cette question, et donneront lieu à des prévisions et à des scénarios mieux informés concernant la qualité de l'air en rapport avec l'aviation à l'échelle des vingt prochaines années.

Chapitre 3

INVENTAIRE DES ÉMISSIONS

3.1 INTRODUCTION

3.1.1 Les aéroports et les activités qui leur sont associées sont sources d'un ensemble d'émissions gazeuses et d'émissions de particules. Dans le contexte de la qualité de l'air aux aéroports, la quantité (ou masse) totale d'émissions aéroportuaires répondant à des caractérisations particulières est une valeur importante dans la perspective de leurs incidences relatives et des questions de conformité aux réglementations. Cette valeur est déterminée par la réalisation d'un inventaire d'émissions, dont les objectifs peuvent comprendre, sans nécessairement s'y limiter :

- a) la collecte d'informations sur les émissions, en surveillant les tendances et en évaluant des scénarios pour l'avenir ;
- b) la comparaison des émissions aux exigences légales (p. ex. seuils) ;
- c) la création de données d'entrée pour des modèles de dispersion, au moyen desquels on s'efforcera de déterminer les concentrations de pollution ;
- d) l'établissement de principes de base pour un programme d'atténuation.

3.1.2 Un processus ascendant (*bottom-up*) est généralement employé pour calculer les inventaires d'émissions car cette approche peut assurer un haut niveau de précision. La première étape exige le calcul de la masse d'émissions, par source, par période et par polluant. Ces variables sont calculées en utilisant les informations sur chacune des sources d'émissions avec les facteurs d'émission correspondants (exprimés en grammes par kilogramme de carburant, grammes par heure de fonctionnement ou grammes par kilowatt de puissance) et les paramètres opérationnels respectifs sur une certaine période. Ces deux paramètres sont ensuite utilisés pour le calcul des émissions totales liées aux sources aéroportuaires. Les émissions totales peuvent ensuite être exprimées sous diverses formes, p. ex. par sources individuelles ou groupe de sources, par polluant ou par période (p. ex. heure, jour, semaine, mois ou année).

3.1.3 L'établissement d'un inventaire d'émissions comportera les étapes suivantes :

- a) définir les paramètres généraux de l'inventaire, tels que l'objectif, le périmètre spatial et fonctionnel et la fréquence des mises à jour ;
- b) déterminer les espèces d'émissions à prendre en considération ;
- c) déterminer les sources d'émissions existantes ;
- d) quantifier les émissions provenant de ces sources ;
- e) considérer les questions à l'échelle macro (inventaires d'émissions régionaux) dans la mesure où c'est pertinent ;
- f) mettre en œuvre des mesures d'assurance qualité et de contrôle de la qualité (pour caractériser les incertitudes et les limites des données).

3.2 PARAMÈTRES POUR LES INVENTAIRES D'ÉMISSIONS

3.2.1 Les facteurs suivants devraient être pris en considération lors de l'établissement d'un inventaire d'émissions :

- a) **Objectif de l'inventaire.** Ce sont l'utilisation et la nécessité d'un inventaire d'émissions qui en déterminent en grande partie la conception. S'il s'agit seulement de calculer la masse totale d'émissions, les méthodes utilisées seront simples et directes. Si l'inventaire doit être utilisé pour une modélisation de la dispersion, les méthodes pourraient être différentes et plus détaillées, celle-ci exigeant des renseignements spatio-temporels plus détaillés. La conception de l'inventaire devra en tenir compte pour que son utilisation future ne soit pas limitée.
- b) **Périmètre du système.** Le périmètre du système définit l'aire spatiale et fonctionnelle à l'intérieur de laquelle les émissions seront calculées. La délimitation spatiale pourrait être établie par la clôture longeant le périmètre de l'aéroport, par une hauteur spécifiée (p. ex. hauteur de la couche de mélange) et/ou par les voies d'accès menant à l'aéroport. L'aire fonctionnelle est généralement définie par des sources d'émissions qui sont fonctionnellement liées aux opérations aéroportuaires, mais qui pourraient être situées à l'extérieur du périmètre aéroportuaire (p. ex. dépôts de carburant).
- c) **Mises à jour.** La fréquence de ses mises à jour influence la conception de l'inventaire ainsi que l'application de bases de données ou de tableaux de données (résolution temporelle nécessaire déterminée, p. ex., par une seule valeur annuelle ou plusieurs valeurs au cours de l'année). Il importe aussi d'évaluer l'effort nécessaire, et possible, pour compiler l'inventaire à une certaine fréquence.
- d) **Niveau de précision/complexité.** Le niveau de précision nécessaire des entrées de données est déterminé par la fidélité requise pour l'analyse et par le niveau de connaissances que possède l'analyste. Les présentes orientations sont destinées à constituer un cadre pour mener l'analyse à différents niveaux de complexité. Lorsque c'est possible, des orientations sont données pour trois niveaux différents de complexité :
 - 1) approche simple ;
 - 2) approche avancée ;
 - 3) approche sophistiquée.

3.2.2 Comme le montre le Tableau 3-1, un inventaire d'émissions peut être effectué à différents niveaux de complexité, en fonction de la fidélité nécessaire des résultats ainsi que de la disponibilité de connaissances de base, de données et d'autres ressources. Les présents éléments d'orientation sont destinés à constituer un cadre pour la réalisation d'études à différents niveaux de complexité. Autant que possible, des orientations sont données pour les trois niveaux de complexité différents (simple, avancé, « sophistiqué »). Lorsqu'une analyse est réalisée, il convient d'indiquer aussi l'approche appliquée.

3.2.3 À moins que certaines raisons légales ou le respect de la réglementation n'exigent qu'il en soit autrement, il est recommandé d'utiliser les meilleures données disponibles pour créer les inventaires d'émissions en prenant en considération le niveau de précision et de confiance requis. Ceci pourrait mener à employer les approches avancée et/ou sophistiquée plutôt que l'approche simple. Des approches pourraient aussi être combinées, une approche étant utilisée pour une source d'émissions et une approche différente pour une autre source lors de la compilation de l'inventaire. De plus, des combinaisons d'approches pourraient être employées pour une même source d'émissions lorsque divers paramètres sont nécessaires pour calculer la masse d'émissions.

Tableau 3-1. Inventaire d'émissions mené à trois niveaux de complexité

Caractéristiques	Approche simple	Approche avancée	Approche sophistiquée
Complexité	Nécessite des connaissances de base ; les données nécessaires sont faciles à obtenir, standardisées et disponibles ; méthodologie simple.	Nécessite des connaissances avancées, spécifiques à l'aéroport et/ou l'accès à des sources de données supplémentaires.	Pourrait nécessiter des connaissances approfondies, une coopération entre différentes entités et/ou l'accès à des données exclusives.
Précision	Généralement prudente	Bonne	Très haute
Confiance	Basse	Moyenne	Haute

3.3 ESPÈCES D'ÉMISSIONS DE POLLUANTS ATMOSPHERIQUES

3.3.1 Divers polluants atmosphériques présents sous forme d'émissions gazeuses ou de particules provenant d'activités liées à l'aviation sont susceptibles d'avoir des effets sur la santé humaine et l'environnement. Ils ne sont cependant pas tous pertinents ni nécessaires pour les inventaires d'émissions. Il convient de consulter les exigences des États pour déterminer quelles espèces d'émissions sont réellement à prendre en compte dans l'inventaire. En général, les espèces communes suivantes pourraient être considérées comme polluants primaires dans les inventaires d'émissions :

- a) oxydes d'azote (NO_x), incluant le protoxyde d'azote (NO₂) et le monoxyde d'azote (NO) ;
- b) composés organiques volatils (VOC), incluant les hydrocarbures non méthaniques (NMHC) ;
- c) monoxyde de carbone (CO) ;
- d) masse de particules non volatiles (nvPM_{mass}), correspondant principalement à la masse du carbone noir ;
- e) masse de PM_{2,5} et de PM₁₀, où la somme de la masse de particules volatiles et non volatiles est utilisée comme un substitut pour les PM_{2,5} et PM₁₀¹ ;
- f) nombre de particules non volatiles (nvPM_{number}), correspondant principalement au nombre de particules de carbone noir ;
- g) oxydes de soufre (SO_x).

3.3.2 Le dioxyde de carbone (CO₂) est parfois inclus dans les inventaires (en prenant comme base de calcul la consommation totale de carburant). Il faut savoir que le CO₂ est une préoccupation globale plutôt que strictement locale, mais des inventaires locaux de CO₂ peuvent, au besoin, contribuer à des inventaires globaux.

3.3.3 Il peut être nécessaire de prendre également en considération dans les inventaires d'émissions d'autres espèces d'émissions potentiellement préoccupantes en matière de santé et d'environnement, notamment les polluants atmosphériques dangereux (HAP). De faibles niveaux de HAP sont présents dans l'échappement des aéronefs et des GSE,

1. Les particules présentes dans les gaz d'échappement des moteurs sont inférieures à 2,5 micromètres de diamètre géométrique. Par conséquent, la teneur en PM_{2,5} et en PM₁₀ des gaz d'échappement est la même.

sous forme gazeuse ou particulaire. Les recherches sur les HAP en sont à leurs débuts et il est à noter que les connaissances sur les facteurs d'émission sont donc fort limitées pour beaucoup de ces espèces. La création d'un inventaire des HAP pourrait donc n'être pas possible ou bien un tel inventaire pourrait n'avoir pas le même niveau de fidélité que l'inventaire d'autres polluants, plus communs. En de tels cas, les autorités compétentes devraient donner de plus amples directives. Des HAP qui ont été identifiés comme étant représentatifs de sources aéroportuaires d'émissions atmosphériques sont, par exemple, (sans y être nécessairement limités) :

- a) 1,3-butadiène ;
- b) acétaldéhyde ;
- c) acroléine ;
- d) benzène ;
- e) particules provenant de véhicules diesel ;
- f) formaldéhyde ;
- g) plomb (dans le cas de carburant au plomb, tel que l'avgas, utilisé seulement dans quelques types de petits avions) ;
- h) naphthalène ;
- i) propionaldéhyde ;
- j) toluène ;
- k) xylène.

3.4 SOURCES D'ÉMISSIONS LIÉES AUX AÉROPORTS

3.4.1 On trouve aux aéroports un large ensemble et un grand nombre de sources d'émissions. Cependant, en fonction des activités particulières aux différents aéroports, tous les types de sources d'émissions n'y sont pas effectivement présents (certaines sont localisées hors aéroport). Pour mieux prendre en compte cette variabilité, les sources d'émissions ont été groupées en quatre catégories :

- a) émissions des avions ;
- b) émissions provenant de l'assistance en escale ;
- c) sources liées aux infrastructures ou au matériel stationnaire ;
- d) sources liées au trafic de véhicules.

3.4.2 Les émissions des aéronefs proviennent généralement des catégories de sources suivantes² :

- a) **Moteurs principaux des aéronefs.** Moteurs principaux des aéronefs dans un périmètre d'exploitation spécifié (du démarrage à l'arrêt).
- b) **Groupes auxiliaires de puissance.** Les GAP de bord qui fournissent l'électricité et l'air conditionné pendant les escales et l'air de prélèvement pour le démarrage du moteur principal.

3.4.3 Les sources d'émissions liées à l'assistance aéroportuaire sont généralement les suivantes :

- a) **Matériel de servitude au sol (GSE).** GSE nécessaire pour l'assistance aux aéronefs au poste de stationnement pendant l'escale : GES, installations de climatisation, tracteurs/pousseurs, tapis roulants, passerelles amovibles, chariots élévateurs, tracteurs de caddies, plates-formes élévatrices, etc.
- b) **Trafic côté piste.** Trafic de véhicules et d'engins de service [balayeuses, camions (restauration, camions citernes, vidanges), chariots, fourgonnettes, autobus, etc.] dans le périmètre aéroportuaire (généralement en zone réglementée) qui circulent sur des voies de service.
- c) **Avitaillement des aéronefs.** Évaporation par les réservoirs de carburant des aéronefs ou provenant des camions citernes ou des conduites pendant les opérations d'avitaillement.
- d) **Dégivrage des aéronefs.** Application de substances de dégivrage et d'antigivrage des aéronefs pendant les opérations en hiver.

3.4.4 Les catégories de sources d'émissions stationnaires ou liées aux infrastructures sont les suivantes :

- a) **Centrales énergétiques/thermiques.** Installations de production d'énergie pour l'infrastructure aéroportuaire : chaudières ; installations de chauffage/réfrigération, co-générateurs.
- b) **Générateur de secours.** Générateurs diesel pour opérations d'urgence (p. ex. pour les bâtiments ou les feux de piste).
- c) **Maintenance des aéronefs.** Toutes les activités et installations de maintenance des aéronefs : nettoyage extérieur, opérations de peinture, bancs d'essai moteurs.
- d) **Maintenance aéroportuaire.** Toutes les activités de maintenance des installations aéroportuaires (agents nettoyeurs, entretien des bâtiments, réparation, aménagement paysager) et du matériel (entretien des véhicules, atelier de peinture).
- e) **Carburant.** Stockage, distribution et manutention du carburant dans les dépôts de carburant et les stations-service pour les véhicules.
- f) **Activités de construction.** Toutes les activités de construction associées aux activités et au développement de l'aéroport.
- g) **Entraînement à la lutte contre l'incendie.** Activités d'entraînement avec différents types de carburant (kérosène, butane, propane, bois).
- h) **Dégivrage de surfaces.** Émissions provenant des substances appliquées pour le dégivrage ou l'antigivrage des aires de circulation des aéronefs et des voies de service et d'accès.

2. Certains problèmes qui pourraient se poser à propos des sources d'émissions et qui, tout en étant pertinents, ne sont pas abordés dans ces éléments d'orientation ont été identifiés et font l'objet de plus amples recherches.

3.4.5 Sources d'émissions liées au trafic côté ville³ :

- a) **Trafic de véhicules.** Trafic de cyclomoteurs, voitures, camionnettes, camions, autobus et autocars associé à l'aéroport sur les voies d'accès, linéaires de trottoirs, montées et parcs de stationnements sur site ou hors site (ceci comprenant les émissions d'évaporation à l'arrêt et au démarrage des moteurs et celles des réservoirs de carburant).

3.4.6 La masse d'émissions de chacune de ces catégories de sources est prise en considération (dans la mesure où elle est pertinente pour l'étude) et les totaux sont additionnés pour obtenir l'inventaire des émissions pour l'ensemble de l'aéroport.

3.5 ÉMISSIONS LOCALES ET ÉMISSIONS RÉGIONALES

Lors de la création d'inventaires des émissions aéroportuaires, il importe d'avoir à l'esprit qu'un aéroport fait toujours partie d'un environnement plus vaste, s'étendant au-delà de la clôture périphérique et des limites de propriété du terrain d'aviation. À certaines fins, telle la modélisation de la formation d'ozone (O₃), des inventaires d'émissions portant sur un plus grand périmètre régional (bassin atmosphérique, par exemple) pourront être établis. Généralement, ce sont les organismes gouvernementaux compétents (p. ex. autorités locales, régionales et/ou nationales) qui procèdent à ces inventaires plus vastes, en collaboration avec l'aéroport. Il faut en particulier que les limites du système soient définies, pour éviter le double comptage des émissions. En fonction des hypothèses retenues (p. ex. sources considérées et leur étendue ou leurs limites spatiales), l'inventaire pour l'aéroport lui-même pourrait ne contribuer que pour un faible pourcentage à l'inventaire général des émissions dans cette zone. Cependant, un inventaire n'indique pas nécessairement, en lui-même et par lui-même, toute l'incidence d'une source d'émissions. Dans certains cas, une modélisation de la dispersion sera utilisée pour mieux définir l'incidence sur la qualité de l'air.

3.6 ASSURANCE QUALITÉ

3.6.1 En fonction de la situation locale, élaborer un inventaire des émissions peut être une tâche complexe, qui pourrait conduire à certaines simplifications ou limitations. Pour obtenir d'une manière générale des résultats fiables, il convient que les inventaires d'émissions soient soumis à un processus de contrôle qualité pendant et après leur mise au point. Comme on va le voir, ce contrôle qualité inclut, sans s'y limiter, la discussion des informations manquantes, l'emploi d'hypothèses, des estimations d'erreurs, la transparence/traçabilité des sources de données et des méthodologies, et la validation des résultats.

3.6.2 **Informations manquantes.** Du fait de l'indisponibilité de certaines données (p. ex. données opérationnelles et/ou facteurs d'émission exacts), certains renseignements pourraient être manquants. En pareil cas, il convient de faire des estimations ou des hypothèses plutôt que de les omettre car il sera possible d'améliorer les inventaires ou les méthodologies une fois que les données ou informations deviendront disponibles. Il est généralement plus difficile de justifier l'addition de sources qui n'ont pas été prises en considération auparavant.

3.6.3 **Estimations des erreurs.** Pour des raisons de crédibilité et pour évaluer la précision d'un inventaire, l'estimation des erreurs constitue une partie importante de la mise au point de cet inventaire. Les données et informations disponibles ont généralement l'un des trois niveaux de qualité suivants :

- a) **Mesurées.** Les données sont réellement mesurées avec ou sans outils et méthodes étalonnés, vérifiées, comptées ou autrement évaluées par d'autres moyens directement associés à la source de données.

3. Les sources côté ville peuvent comprendre aussi des trains, dont il n'est pas tenu compte dans ce manuel.

Ceci peut comprendre aussi le calcul d'une valeur mesurée avec un facteur de relation (en prenant le débit carburant réellement mesuré et en utilisant un facteur de relation pour le CO₂ de, par exemple, 3 150 grammes par kg de carburant, pour déterminer les émissions de masse de CO₂ provenant de moteurs au kérosène).

- b) *Calculées*. On calcule les données en utilisant des algorithmes existants et des données disponibles, qui ne sont pas directement associés à la source de données.
- c) *Estimées*. On estime les données en utilisant des renseignements de référence, l'expérience du passé ou des hypothèses qualifiées.

3.6.4 Pour chaque niveau de qualité des données, il est possible de prédéfinir une barre d'erreur (valeur \pm écart absolu) ou un pourcentage d'erreur (valeur \pm pourcentage) et de calculer une erreur totale. En appliquant ceci à toutes les sources, on pourra aisément déterminer où il convient d'améliorer la qualité des données, ou bien où des niveaux d'incertitude plus élevés peuvent être acceptés sans que cela nuise sensiblement au résultat général.

3.6.5 **Transparence et traçabilité.** Pour permettre un contrôle de qualité efficace et éviter que des calculs d'inventaires d'émissions soient faits en double avec des données améliorées, la méthode de calcul appliquée devra être indiquée et bien documentée. Les sources d'information et les facteurs d'émission utilisés devront être recensés et référencés. Si, alors qu'une source de données idéale a été recensée, elle ne serait peut-être pas une option viable, d'autres sources de données (p. ex. la meilleure après elle) devront être spécifiées.

3.6.6 **Validation.** Les résultats finaux devraient être validés et soumis à une vérification croisée par un système approprié de contrôle de la qualité. Ceci peut impliquer une comparaison avec des données de référence de systèmes semblables ou exiger que certains éléments de l'inventaire d'émissions soient recalculés avec des outils différents.

3.7 PRÉVISIONS

Lorsqu'ils procèdent à une analyse de qualité de l'air pour des conditions passées et présentes, les analystes pourraient souhaiter prendre aussi en considération la contribution de futures sources d'émissions aéroportuaires. En préparant un inventaire d'émissions aéroportuaires représentant des scénarios d'avenir (p. ex. à 5, 10 ou 25 ans), il convient d'employer une méthodologie qui porte sur tous les éléments de l'aéroport, ceci incluant l'exploitation et les mouvements aériens, le traitement des passagers et l'acheminement du fret, les besoins de l'infrastructure aéroportuaire et les volumes de trafic de véhicules de surface. Les méthodologies de prévision peuvent devenir des opérations très complexes et exigent souvent de nombreuses hypothèses et/ou une connaissance poussée de l'aéroport et de ses abords, des comportements du marché, de l'utilisation de matériel par les compagnies aériennes et de la promulgation d'exigences réglementaires. La description détaillée de méthodologies de prédiction dépasse généralement la portée des présentes orientations sur les inventaires d'émissions.

Appendice 1 au Chapitre 3

MÉTHODOLOGIES D'ESTIMATION DES ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

1. INTRODUCTION

1.1 Ce sont parfois les moteurs principaux des aéronefs qui reçoivent le plus d'attention de la part des parties qui se préoccupent des émissions de l'aviation parce qu'ils peuvent être la source dominante liée à l'aéroport. Le présent appendice recommande des méthodologies d'estimation des émissions des moteurs d'aviation. Les moteurs principaux sont les moteurs utilisés pour la propulsion de l'aéronef. D'autres moteurs embarqués sont les groupes auxiliaires de puissance (GAP) qui fournissent de l'énergie électrique et de l'air de prélèvement pneumatique lorsque l'aéronef circule au sol ou se trouve au poste de stationnement et qu'il n'y a pas d'autre possibilité. La décharge de carburant provenant des réservoirs de carburant des aéronefs n'est pas autorisée et il n'en sera donc pas question ici comme source d'émissions.

1.2 Les moteurs principaux sont généralement classés soit comme réacteurs à double flux à turbine à gaz (dits parfois turboréacteurs) et turbopropulseurs alimentés en kérosène aviation (dit aussi carburant aviation), soit comme moteurs à piston, alimentés en essence aviation.

Émissions des moteurs principaux aux abords des aéroports

1.3 Les émissions d'une certaine combinaison de moteurs principaux sont fonction principalement de trois paramètres : durée de phase (TIM), indices d'émission (IE) des moteurs principaux et débit carburant des moteurs principaux. Les émissions totales de la flotte desservant un aéroport font intervenir deux paramètres supplémentaires : taille/type de la flotte et nombre d'opérations. Dans le calcul des émissions des aéronefs à un aéroport donné, la précision souhaitée de l'inventaire d'émissions dictera les valeurs et la méthodologie employées (approche simple, avancée ou sophistiquée) pour déterminer chacun de ces paramètres. Le présent document essaie de simplifier l'analyse de l'inventaire en trois approches, mais il est généralement reconnu que l'utilisateur pourra parfois employer une approche hybride, combinant des éléments des approches simple, avancée et sophistiquée. Il faudra cependant veiller à ne pas employer une approche hybride où tous les aspects seraient surestimés, ce qui attribuerait involontairement un plus grand poids aux émissions des aéronefs lors de l'évaluation d'inventaires aéroportuaires. Il est donc recommandé à l'analyste de documenter complètement la méthodologie d'analyse, y compris comment ces éléments d'orientation sont employés. Ceci sera traité de façon plus complète dans la section 4. On trouvera ci-dessous les descriptions de base de chacun des paramètres :

- a) La **durée de phase (TIM)** est la période, généralement mesurée en minutes, que les moteurs des aéronefs passent réellement à un réglage de puissance identifié, correspondant généralement à l'un des régimes d'utilisation CAD du cycle de vol opérationnel.
- b) **Indice d'émission (IE) et débit carburant.** Un IE est défini comme étant la masse de polluant émise par unité de masse de carburant consommé pour un moteur spécifié. La Banque de données OACI sur les émissions des moteurs (EEDB) donne l'IE pour les moteurs certifiés en unités grammes de polluant par kilogramme de carburant (g/kg) pour NO_x, CO et HC, ainsi que le débit carburant spécifique au régime en unités kilogrammes par seconde (kg/s), pour les quatre réglages de puissance du dispositif de certification

des émissions des moteurs. En multipliant l'IE spécifique à un régime d'utilisation (*mode*) par le débit carburant spécifique à un régime d'utilisation (*mode*), on obtient un taux d'émission spécifique à ce mode en unités de grammes par seconde. En multipliant ce taux d'émission par la TIM (en unités de secondes), on obtient le taux d'émission spécifique à ce mode en unités de grammes. Pour des inventaires plus précis, des ajustements devront être apportés à ces valeurs pour tenir compte des différents réglages de puissance, effets d'installation, etc. Des renseignements supplémentaires sont disponibles sur les nvPM mesurées en grammes par kilogramme de carburant (g/kg) pour la masse et en nombre de kilogramme de carburant (#/kg) pour le nombre.

2. CERTIFICATION DES ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

2.1 Aux fins de la certification des émissions, l'OACI a défini un CAD de référence spécifique au-dessous d'une hauteur de 914 m (3 000 ft) AGL¹, en rapport avec ses essais de certification, procédures de mesure et limites convenus à l'échelon international (voir renseignements complémentaires dans l'Annexe 16, Volume II).

2.2 Ce cycle, constitué de quatre phases choisies pour représenter approche, circulation au sol/ralenti, décollage et montée, est une version plus simplifiée du cycle de vol opérationnel (voir Tableau 3-A1-1). Comme exemple de cette simplification, il est supposé que le fonctionnement à la puissance de décollage passe brusquement à la puissance de montée à la fin de la course au décollage et que ce réglage est maintenu inchangé jusqu'à 3 000 ft. Sans saisir le détail et les variations qui se produisent en exploitation réelle, le CAD de certification des émissions a été conçu comme un cycle de référence aux fins de la comparaison de technologies et il a été confirmé à plusieurs reprises qu'il était adéquat et approprié à cette fin.

2.3 Ce CAD d'émissions de référence est destiné à représenter l'exploitation aérienne au-dessous de la hauteur de mélange atmosphérique ou de la couche d'inversion. La hauteur de mélange réelle peut varier d'un endroit à un autre, mais elle est en moyenne de l'ordre de 914 m (3 000 ft), hauteur employée pour établir la TIM en vol. Les polluants émis au-dessous de la hauteur de mélange sont susceptibles d'avoir un effet sur les concentrations déterminant la qualité de l'air locale, ceux qui sont émis plus près du sol pouvant avoir de plus grands effets sur les concentrations au niveau du sol².

2.4 Les caractéristiques retenues pour le CAD de certification ont été tirées d'études menées dans les années 1970. Elles représentaient les opérations en trafic de pointe (c. à d. conditions défavorables types) plutôt que les opérations CAD moyennes. La justification de leur utilisation pour les normes d'émissions des aéronefs est largement basée sur la protection de la qualité de l'air aux grands aéroports-pivots métropolitains et à leurs abords dans des conditions de forte activité ou dans des conditions météorologiques défavorables.

2.5 Il a été reconnu que, même pour des aéronefs d'un même type, de grandes variations se produisent entre différents aéroports internationaux dans les heures d'exploitation et les réglages de puissance réels, et que même à un aéroport donné des variations significatives pourraient se produire d'un jour à un autre, voire au cours d'une même journée. L'emploi d'un CAD fixé donne cependant un cadre de référence constant à partir duquel des différences dans la performance en matière d'émissions des moteurs pourraient être comparées.

-
1. Dans une étude d'inventaire des émissions, une altitude de 3000 ft au-dessus du niveau du sol est prise comme référence comme altitude du point de référence d'aérodrome choisi à utiliser dans l'étude.
 2. L'OACI reconnaît que différents États peuvent avoir des normes ou des seuils différents pour déterminer si un polluant émis a un effet local. Dans de nombreux cas, cela est exprimé sous la forme d'une altitude maximale jusqu'à laquelle un certain polluant est émis. Certains États peuvent spécifier à de telles fins une altitude spécifique. D'autres peuvent ordonner de procéder à une modélisation pour déterminer l'altitude à laquelle des polluants peuvent avoir un effet local dans une certaine zone. On parle souvent à ce propos de hauteur de mélange dans la couche limite atmosphérique. Comme définition de base, la hauteur de mélange est la hauteur de brassage vertical dans la basse troposphère. Comme définition de base également, la couche limite est la partie de la troposphère directement soumise à l'influence de la surface terrestre. Les États qui spécifient qu'une hauteur de mélange sera déterminée aux fins d'évaluation de la qualité de l'air locale ont généralement accepté des modèles pour les analyses et/ou spécifient pour la hauteur de mélange une hauteur par défaut, telle que 3 000 ft.

Tableau 3-A1-1. CAD d'émissions de référence

Phase	TIM (minutes)		Réglage de poussée (pourcentage de la poussée nominale)
Approche	4,0		30
Circulation et ralenti au sol	26	7,0 (entrée) 19,0 (sortie)	7
Décollage	0,7		100
Montée	2,2		85

2.6 Le CAD de référence est donc forcément un modèle artificiel, sujet à de nombreux écarts par rapport aux conditions du monde réel à différents aéroports. Il a été conçu comme cycle de référence aux fins de la certification et de la démonstration de conformité aux normes en vigueur en matière d'émissions.

2.7 Ce CAD, conçu aux fins de la certification, peut convenir aussi pour des calculs simples d'inventaire d'émissions. Cependant, vu ses supposés génériques, son emploi ne refléterait généralement pas les émissions réelles. Si l'on dispose de données d'exploitation plus précises, il convient de les employer de préférence pour réaliser un inventaire plus précis.

2.8 Comme indiqué par ailleurs dans les présentes orientations, les normes de l'OACI en matière d'émissions des moteurs d'aviation couvrent les émissions de CO, HC, NO_x, nvPM et de fumée. Elles ne s'appliquent qu'aux turboréacteurs et réacteurs à turbosoufflante d'aéronefs subsoniques et supersoniques dont la poussée nominale est supérieure ou égale à 26,7 kN (Annexe 16, Volume II). L'OACI a exclu de ses normes les petits réacteurs à turbosoufflante et turboréacteurs (poussée nominale inférieure à 26,7 kN), moteurs à turbopropulseurs, moteurs à piston et turbomoteurs, GAP et moteurs d'aéronefs d'aviation générale, en raison du très grand nombre de modèles, du coût élevé de la conformité et de la faible consommation de carburant en comparaison des aéronefs à réaction commerciaux.

Données de certification-émissions

2.9 Il est procédé aux tests de certification-émissions sur moteurs non installés dans une installation d'essai dotée d'instruments et étalonnée. Les mesures d'émissions et de performance des moteurs sont effectuées à un grand nombre de réglages puissance (généralement plus de dix) couvrant tout l'éventail depuis le ralenti jusqu'à la pleine puissance, et pas seulement aux quatre modes CAD de l'OACI qui sont prescrits. Les données mesurées sont corrigées par rapport à des conditions de performance du moteur de référence et aux conditions atmosphériques de référence de l'ISA au niveau de la mer et avec une humidité de 0,00634 kg d'eau/kg d'air, selon des procédures bien établies (pour plus de renseignements, voir l'Annexe 16, Volume II).

2.10 Les données de certification OACI des émissions des moteurs pour CO, HC et NO_x, ensemble avec les débits carburant qui leur sont associés, sont communiquées à une série de quatre réglages de puissance de référence définis respectivement comme « décollage », « montée », « approche » et « circulation/ralenti au sol » et pour des durées prescrites à chacun de ces réglages de puissance (TIM). Par contre, les émissions de fumée ne doivent être communiquées que comme une valeur maximale de la densité de fumée, sous la forme d'un indice de fumée (SN) pour chaque moteur, indépendamment du réglage de puissance (bien que des SN spécifiques à un régime d'utilisation soient communiqués dorénavant pour la majorité des moteurs certifiés).

2.11 Les valeurs de certification d'émissions décrites plus haut sont présentées dans la base de données EEDB de l'OACI, sous forme de fiches de données moteurs, et aussi d'une feuille de calcul contenant les données pour tous les moteurs certifiés pour lesquels des constructeurs ont communiqué des données. Cette banque de données, accessible au public sur le site <http://easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>, est mise à jour périodiquement. Un exemple de fiche de données sur les émissions d'un moteur est présenté dans la Pièce jointe A à cet Appendice.

3. DESCRIPTION DU CYCLE DE VOL OPÉRATIONNEL

3.1 Les phases départ et arrivée d'un cycle de vol opérationnel réel pour un aéronef commercial sont plus complexes que les quatre phases (approche, circulation/ralenti au sol, décollage et montée) utilisées aux fins de la certification OACI. Les cycles réels emploient différents réglages de poussée des moteurs, et les durées à ces régimes d'utilisation sont affectées par des facteurs tels que le type d'aéronef, les caractéristiques d'agencement de l'aéroport et des pistes, et les conditions météorologiques locales. Il y a cependant des segments communs à pratiquement tous les cycles de vol opérationnels. Ils sont représentés à la Figure 3-A1-1 et décrits dans les sections qui suivent.

3.2 Le fonctionnement des GAP, pour les aéronefs qui en sont équipés, est généralement limité aux périodes où l'aéronef circule au sol ou est immobilisé au terminal. Le GAP est généralement arrêté juste après le démarrage des moteurs principaux, et généralement mis en marche après l'atterrissage lorsque l'aéronef s'approche du poste de stationnement. Si un ou plusieurs moteurs principaux sont arrêtés pendant la circulation au sol, il peut être nécessaire aussi de démarrer le GAP pendant le roulage à l'arrivée. Certains aéroports spécifient des temps de fonctionnement maximaux des GAP, principalement afin de limiter le bruit en zone terminale.

3.3 Comme on va le voir, l'activité aérienne à un aéroport est quantifiée en termes de CAD ou d'opérations. Une opération représente soit un atterrissage soit un décollage, et deux opérations peuvent être égales à un CAD (roulage au départ, décollage, atterrissage, roulage à l'arrivée).

4. MÉTHODOLOGIES DE CALCUL DES ÉMISSIONS

4.1 Il existe plusieurs approches, ou méthodologies, pour quantifier les émissions des aéronefs — chacune avec un certain degré de précision et un degré inverse d'incertitude.

4.2 Cette section traite de trois approches générales pour quantifier les émissions des moteurs d'aviation, chacune d'elles présentant plusieurs niveaux de complexité. Chaque approche peut comporter plusieurs options pour certains paramètres et facteurs contributifs, en fonction de la disponibilité des données et des informations :

- a) L'approche simple, la moins compliquée, est celle qui exige le moins de données et présente le plus haut niveau d'incertitude, aboutissant souvent à une surestimation des émissions des aéronefs. Elle utilise des informations publiques et des tableaux de données très facilement disponibles, n'exigeant qu'un minimum d'informations spécifiques à l'aéroport. C'est l'approche la plus basique pour l'estimation des émissions des moteurs d'aviation dont il sera question dans ces orientations. Les seules données spécifiques à l'aéroport qui sont nécessaires sont le nombre de mouvements aériens (sur une certaine période, telle qu'une année) et chaque type d'aéronef impliqué dans chaque mouvement (option A) ou certains renseignements de base supplémentaires sur les moteurs utilisés pour chaque type d'aéronef (option B).

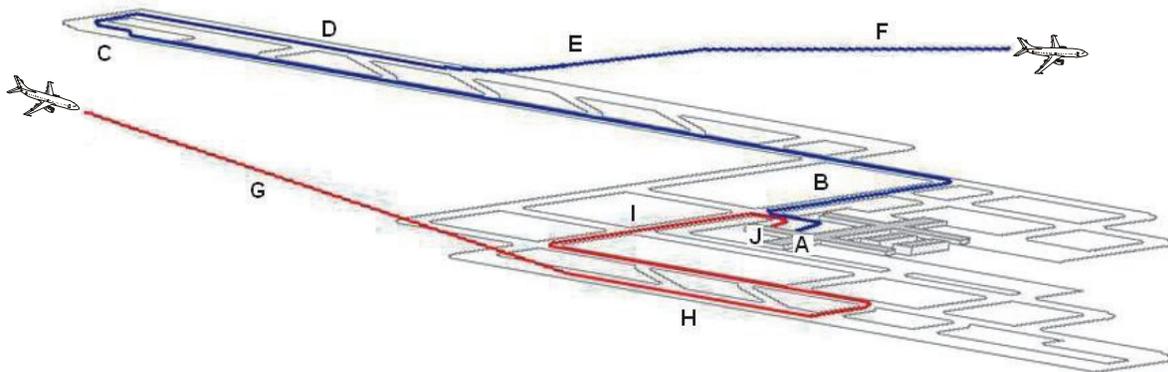


Figure 3-A1-1. Cycle de vol opérationnel

DÉPART

- A. **Démarrage moteur.** Il est normal de démarrer les moteurs principaux avant, ou pendant, le refoulement depuis le poste de stationnement. Lorsqu'il n'est pas nécessaire de refouler l'aéronef, les moteurs sont mis en marche immédiatement avant le roulage.
- B. **Circulation au sol jusqu'à la piste.** Les aéronefs roulent généralement tous moteurs en marche jusqu'à la piste ou à l'aire d'attente avant de pénétrer sur la piste, bien qu'ils puissent rouler dans certains cas avec moins que tous les moteurs. Le roulage au départ est normalement exécuté au réglage de puissance ralenti/circulation au sol, hormis de courtes sautes de puissance pour surmonter l'inertie initiale au début du roulage ou, si nécessaire, pour négocier des virages prononcés.
- C. **Attente au sol.** Au besoin, les aéronefs pourront être obligés d'attendre en file dans l'attente de l'autorisation d'entrer sur la piste et de rouler jusqu'à la position de décollage. Les moteurs principaux sont généralement réglés sur la poussée de ralenti, avec de courtes sautes de puissance pour se mettre en position.
- D. **Course au décollage.** L'aéronef accélère le long de la piste jusqu'à la vitesse de rotation préétablie à la fin de la course au décollage avec moteurs principaux réglés sur la puissance de décollage. Les exploitants emploient rarement la pleine puissance pour décoller ; c'est plutôt un réglage de puissance préétabli qui est appliqué au début de la course au décollage. Les exploitants emploient soit des poussées au décollage *de-rated*, soit, plus souvent, des réglages de poussée réduits (flexibles), déterminés par la masse au décollage réelle de l'aéronef, la longueur de la piste et les facteurs météorologiques applicables. Les manettes sont parfois actionnées pendant la première partie de la course au décollage, étant initialement réglées en position intermédiaire, puis avancées quelques secondes plus tard sur le réglage de puissance au décollage préalablement déterminé.
- E. **Montée initiale jusqu'à la réduction de puissance.** Après avoir quitté le sol, on relève l'atterrisseur (c.-à.-d. les roues) et l'aéronef monte à vitesse constante avec le réglage de puissance de décollage initial jusqu'à la hauteur de réduction de puissance (entre 800 et 1 500 ft AGL).
- F. **Accélération, mise en configuration lisse et montée en route.** Après le repoussement des manettes, l'aéronef continue à monter à un réglage de puissance inférieur à celui qui est employé pour le décollage, après quoi les volets/becs sont rentrés tandis que l'aéronef accélère et atteint l'altitude de croisière.

ARRIVÉE

- G. **Approche finale et sortie des volets.** L'approche finale stabilisée à partir du repère d'approche finale (*final approach fix*, FAF) suit un radioalignement de descente relativement prévisible à faibles poussées des moteurs. Les réglages de poussée sont accrus pour contrer la traînée additionnelle lorsque les volets et le train d'atterrissage sont abaissés, tandis que la vitesse diminue vers l'arrondi.
- H. **Arrondi, toucher des roues et course à l'atterrissage.** Les manettes sont normalement réglées sur ralenti pendant l'arrondi et la course à l'atterrissage. Cela sera suivi de l'application des freins de roue et, s'il y a lieu, d'une poussée inverse pour ralentir l'aéronef sur la piste.
- I. **Circulation au sol, de la piste au poste de stationnement.** Le roulage à l'arrivée depuis la piste est un processus semblable au roulage au départ vers la piste décrit ci-dessus ; les exploitants peuvent cependant arrêter un ou plusieurs moteurs, selon le cas, pendant le roulage si l'opportunité se présente.
- J. **Arrêt des moteurs.** Les moteurs restants sont arrêtés après que l'aéronef a arrêté de circuler au sol et qu'une alimentation électrique est disponible pour les services à bord.

L'approche simplifiée ne devrait être employée que comme moyen d'effectuer une évaluation initiale des émissions des moteurs d'aviation à un aéroport. Pour la plupart des espèces de polluants, c'est une approche généralement prudente, ce qui signifie que le résultat surestimera souvent le niveau total d'émissions des moteurs d'aviation. Pour certaines espèces d'émissions et des aéronefs moins courants, les émissions pourraient cependant être sous-estimées. On ne voit donc pas clairement avec quelle précision l'approche simple rend compte des émissions réelles des moteurs d'aviation à un aéroport donné.

- b) L'approche avancée présente un niveau de finesse accru en ce qui concerne les types d'aéronefs, types de moteurs, calculs d'IE et TIM. Elle exige des renseignements spécifiques se rapportant aux aéroports ou des hypothèses qualifiées, qui sont encore accessibles au public mais pourraient être plus difficiles à obtenir. Cette approche représente les conditions locales en intégrant certains calculs de performance de l'aéronef. Ces améliorations donnent un aperçu plus précis des émissions des moteurs principaux que ne le fait l'approche simple, mais les résultats en ce qui concerne les émissions totales sont encore considérés comme prudents.
- c) L'approche sophistiquée est celle qui rend le mieux compte des émissions réelles des aéronefs. C'est l'approche la plus complète, qui exige la quantité maximale de données et apporte le plus haut niveau de certitude. Elle va au-delà des données de certification CAD et des TIM et utilise des données réelles de performance opérationnelle des moteurs/aéronefs. L'emploi de cette approche exige une plus grande connaissance des opérations des aéronefs et des moteurs et dans certains cas elle exigera l'emploi de données propriétaires ou de données ou modèles qui ne sont normalement pas dans le domaine public. Il exige dans la plupart des cas que les utilisateurs procèdent à des analyses de plus haut niveau.

4.3 Les différentes méthodologies apportent un degré de précision progressivement plus élevé et comportent un degré inverse d'incertitude. Ce sont le but et la nécessité de la quantification des émissions des aéronefs qui déterminent le niveau de précision nécessaire dans un inventaire, ce qui, à son tour, détermine la méthodologie appropriée. Un facteur secondaire est la disponibilité des données. Même si une analyse peut garantir un plus haut degré de précision, cela pourrait n'être pas possible pour certains éléments de l'analyse faute de disponibilité des données. L'OACI insiste pour que, si un inventaire d'émissions doit donner lieu à des politiques qui affecteront l'exploitation aérienne à un aéroport donné, les calculs soient basés sur les meilleures données disponibles, l'approche simple ne devant normalement pas être employée. Lorsque des renseignements plus poussés sur l'exploitation aérienne à un aéroport sont disponibles, une approche plus avancée est plus appropriée.

4.4 Il importe de noter aussi que, à son niveau le plus simple, la réalisation d'un inventaire d'émissions par des individus sera peut-être possible, mais que les méthodes avancées et sophistiquées exigeront sans doute une certaine forme de collaboration avec d'autres ressources de l'aviation. L'identité des types d'aéronefs et de moteurs réels, des données précises sur les TIM exactes et les réglages de puissance moteurs réels utilisés dans l'analyse, par exemple, exigent des données qu'il est souvent difficile d'obtenir. En général, plus la méthode est sophistiquée et plus grand sera le niveau de collaboration nécessaire.

4.5 L'OACI souligne qu'il importe que les aéroports et les États utilisent les meilleures données disponibles lorsqu'un inventaire d'émissions des moteurs d'aviation est établi. La précision des méthodologies OACI d'inventaire des émissions augmente lorsqu'on passe de l'approche simple à l'approche avancée et finalement à l'approche sophistiquée. L'OACI recommande que le choix d'une approche, ou de parties d'une approche, tienne compte de la fidélité des résultats qui est souhaitée ou nécessaire. Le spécialiste de la qualité de l'air pourra désigner ces approches comme approche simple, approche avancée ou approche sophistiquée OACI. Il est à noter aussi que les méthodes peuvent être combinées et que l'emploi d'une approche simple pour une partie de l'inventaire n'exclut pas l'emploi d'approches plus précises pour les autres parties.

4.6 Le Tableau 3-A1-2 donne un aperçu des approches de calcul. Il dresse la liste de chacun des quatre paramètres primaires (composition de la flotte, mouvements, TIM et IE) avec d'autres facteurs contributifs. Il donne aussi des explications sur le mode de détermination de ces paramètres selon les trois approches (simple, avancée, sophistiquée).

4.7 Lors du choix d'une approche pour la création d'un inventaire d'émissions des aéronefs, on pourra choisir une combinaison des différentes approches et options. Le choix se basera sur la disponibilité des données et renseignements, ainsi que sur la précision requise de l'inventaire. Les différents éléments énumérés et décrits dans le Tableau 3-A1-2 sont dans une certaine mesure indépendants les uns des autres, par exemple, tous les éléments de l'« option B » ne devront pas nécessairement être réunis.

4.8 Pour des raisons de logique et de cohérence, les éléments « flotte » et « mouvements » de chacune des approches vont ensemble. L'approche simple, option A, ne peut être combinée avec d'autres options ou approches ; la même chose est vraie pour l'approche sophistiquée. Les autres éléments (approche simple, option B, et options A et B) peuvent être combinés.

4.9 Comme prélude aux détails intervenant dans chacune des approches, l'OACI souhaite établir le concept général dans chaque méthode. En résumé, l'inventaire commence par une combinaison individuelle aéronef/moteurs et applique en général les paramètres opérationnels et paramètres d'émissions dans un processus en deux étapes, comme suit :

- a) **Première étape.** Calculer les émissions d'une certaine combinaison aéronef/moteurs en additionnant les émissions provenant de tous les modes opératoires constituant un CAD, où les émissions d'un certain mode pourraient être exprimées comme suit :
 - 1) Émissions propres à un régime d'utilisation pour une certaine combinaison aéronef/moteurs = $TIM \times \text{carburant utilisé (à la puissance appropriée)} \times IE \text{ (à la puissance appropriée)} \times \text{nombre de moteurs}$.
 - 2) Les émissions pour le cycle de vol opérationnel CAD sont alors une addition des différentes parties du cycle. Dans des méthodes plus sophistiquées, les données d'IE et de débit carburant pourraient n'être pas constantes pendant toute la TIM.
- b) **Étape deux.** Calculer les émissions totales en additionnant sur toute la gamme les combinaisons aéronef/moteurs et le nombre de CAD pour la période requise.

5. FLOTTE AÉRIENNE ET MOUVEMENTS

5.1 Le terme générique flotte aérienne est employé pour décrire les diverses combinaisons d'aéronefs et de moteurs qui desservent un aéroport. Sous sa forme la plus simple, la flotte aérienne peut être généralement caractérisée par des descripteurs tels que lourd, grand, petit, turboprop ou à pistons. Aux fins d'un inventaire d'émissions des aéronefs, cependant, il est généralement nécessaire d'identifier les flottes avec plus de précision (par exemple par type d'aéronefs).

5.2 Les aéronefs peuvent être désignés de façon générique selon le constructeur et le modèle. Ainsi, « A320 » est un Airbus modèle 320 ou « B737 » représente le Boeing 737, mais il est à noter qu'un type d'aéronef générique peut comporter des variantes significatives dans la technologie des moteurs et de grandes différences dans les caractéristiques en matière d'émissions entre différents types d'aéronefs et leur motorisation.

Tableau 3-A1-2. Aperçu des modes de calcul

Paramètres clés	Approche simple		Approche avancée		Approche sophistiquée
Flotte (combinaisons aéronef/moteurs)	Identification de types de groupes d'aéronefs (p. ex. tous les B737 ou tous les A319/320/321)		Identification de types d'aéronefs et de moteurs représentatifs (p. ex. tous les A320 avec 50 % de V52527 et 50 % de CFM56-5B4/3)		Combinaisons réelles de type/sous-type d'aéronefs et de moteurs (par suffixe numérique et UID de moteur ou similaire)
Mouvements	Nombre de mouvements aériens par type d'aéronefs (d'après tableau à consulter), comme défini dans « flotte »		Nombre de mouvements aériens par combinaison aéronef-moteurs comme défini dans « flotte »		Nombre de mouvements aériens par suffixe numérique d'aéronef
Calcul des émissions	Option A tableau UNFCC (aucun calcul)	Option B Feuille de calcul	Calcul basé sur la performance, qui pourrait représenter d'autres paramètres tels que la vitesse de progression, l'altitude, les conditions ambiantes (en fonction du modèle)		Basé sur la performance avec données moteurs réelles (P3/T3) et en incluant les conditions ambiantes
Niveaux de poussée	Option A sans objet	Option B Poussée nominale	Option A Aéroport moyen et/ou poussée réduite spécifique à un groupe d'aéronefs	Option B Poussée réduite nominale calculée d'après modèle de performance	Poussée réelle communiquée par le transporteur aérien
TIM		Option B CAD de certification OACI	Option A TIM modifiées (moyennes spécifiques à un aéroport ou TIM réelle pour un ou plusieurs modes)	Option B TIM calculée selon modèle de performance	Valeurs réelles basées sur les mouvements pour tous les modes
Débit carburant		Option B Valeurs de la banque de données de certification OACI	Option A Tiré de l'EEDB de l'OACI et du niveau de poussée avec modèle de conversion de la poussée au débit carburant	Option B Tiré de l'EEDB de l'OACI avec modèle de performance	Valeurs précisées en utilisant les données de performance et données opérationnelles réelles du transporteur aérien
IE	Option A masse d'émissions par CAD de l'UNFCC par type d'aéronef	Option B Valeurs de la banque de données de certification OACI	Option A Tiré de l'EEDB de l'OACI et du niveau de poussée par la méthode d'ajustement de courbe BFFM2	Option B Tiré de l'EEDB de l'OACI par la méthode d'ajustement de courbe BFFM2	Valeurs précisées en utilisant les données de performance et opérationnelles réelles provenant du transporteur aérien
Émissions au décollage	Pas pris en considération		Envisager d'inclure — voir § 6.53 à 6.59		Envisager d'inclure— voir § 6.53 à 6.59
Moteur endommagé	Ne pas prendre en considération — voir § 6.44 à 6.52		Ne pas prendre en considération — voir § 6.44 à 6.52		Ne pas prendre en considération — voir § 6.44 à 6.52

5.3 Une désignation plus descriptive pour un type d'aéronef comprendrait également le numéro de série pour chaque modèle, tel que B747-400 pour un Boeing 747 de la série 400. Ceci aide à établir la taille des moteurs et la technologie employée, ce qui est nécessaire pour un inventaire d'émissions plus précis. Toutefois, même dans une catégorie comme la B744, différents exploitants aériens peuvent avoir des types de moteurs différents pour des raisons qui leur sont propres.

5.4 Enfin, la représentation la plus exacte des aéronefs consiste à identifier le modèle et la série ainsi que les moteurs dont l'aéronef est réellement équipé et les modifications qui influent sur la performance en matière d'émissions (p. ex. B777-200IGW avec moteurs GE90-85B à chambre de combustion DAC II). L'aéronef lui-même ne produisant pas d'émissions, disposer de renseignements détaillés sur les moteurs dont est équipée la flotte aérienne est un élément essentiel d'un inventaire d'émissions précis.

Flotte aérienne, approche simple

5.5 Pour l'approche simple, les deux premiers éléments de la flotte aérienne (types d'aéronef et de moteurs) ont été simplifiés dans une liste des types d'aéronefs pour lesquels des données d'émissions précalculées sont fournies. Pour chaque aéronef, le type de moteur est supposé être le type de moteur le plus communément employé internationalement pour ce type d'aéronef³, et les émissions provenant de moteurs de ce type se traduisent dans les facteurs d'émission correspondants. Dans la Pièce jointe B au présent Appendice, le Tableau B-1 dresse une liste de 63 aéronefs en présentant des données sur les émissions de chacun de leurs types de moteurs⁴.

5.6 Si la flotte qui dessert un aéroport comprend des aéronefs ne figurant pas dans le Tableau B-1, il convient alors d'employer le Tableau B-3 pour déterminer un aéronef générique approprié. Voir la colonne intitulée « aéronefs IATA en groupe » pour situer le type d'aéronef dans la colonne intitulée « type d'aéronef générique ».

5.7 Si un aéronef ne figure ni dans le Tableau B-1 ni dans le Tableau B-3, il est recommandé d'employer des renseignements supplémentaires tels que la masse, le nombre de moteurs, la catégorie de dimensions et la distance franchissable pour identifier un aéronef équivalent approprié figurant dans Tableau B-1 ou B-3, sachant que cela introduira des hypothèses supplémentaires qui pourront influencer sur la précision de tout résultat. Dans le cas d'un aéroport principalement desservi par des jets régionaux, jets d'affaires et/ou aéronefs à turbopropulseurs, il est peu probable que la gamme d'aéronefs donne un résultat fiable. En de tels cas, une méthode plus avancée est recommandée.

Mouvements aériens, approche simple

5.8 Dans le cas de l'approche simple, il faut connaître le nombre de mouvements aériens ou d'opérations (CAD) et les types d'aéronefs à un aéroport sur une période spécifiée (heure, jour, mois ou année) ou en avoir une estimation.

5.9 La plupart des aéroports perçoivent des redevances d'usage pour la fourniture d'installations et services, généralement sous la forme d'une redevance d'atterrissage. Dans ces, cas les exploitants d'aéroport ont des dossiers

3. Au 30 juillet 2004, les données sur les émissions pour le B747-300 sont basées sur des émissions établies proportionnellement pour les deux types de moteurs les plus courants.

4. Au départ, le CAEP a mis au point ces données à la demande de la CCNUCC en rapport avec les directives de celle-ci pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, qui sont employés pour les problèmes d'émissions globales plutôt que de qualité de l'air locale. Cela comprend donc des données sur les émissions de gaz à effet de serre qui ne sont pas pertinentes en matière de qualité de l'air locale. On pourra ne pas tenir compte de ces données pour les inventaires établis en vue d'évaluations de la qualité de l'air locale (bien que certains lieux pourraient souhaiter un inventaire d'émissions de CO₂ à d'autres fins). La CCNUCC se préoccupe surtout des émissions de gaz à effet de serre tout au long d'un vol, les données d'émissions CAD, basées sur les normes de certification OACI, ne refléteront donc pas avec précision les émissions réelles dans un contexte opérationnel. Dans la plupart des cas, les façons de procéder dont il a été question à propos des approches avancées et sophistiquées aideront à établir un inventaire plus précis des polluants en cause.

précis sur les mouvements aériens, comprenant le nombre d'atterrissages et les types d'aéronefs. Certains aéroports enregistrent aussi le nombre de décollages, mais les dossiers d'atterrissage apportent généralement des données plus fiables. Aux grands aéroports, des données publiées sur les mouvements aériens annuels sont donc souvent disponibles.

5.10 Un CAD comprend un atterrissage et un décollage, de sorte que les nombres d'atterrissages et de décollages à un aéroport devraient être égaux. Le nombre total soit d'atterrissages, soit de décollages, pourra être traité comme le nombre de CAD. Toute différence entre les nombres de d'atterrissages et de décollages indiquera donc généralement une erreur dans les dossiers ; s'il n'y a pas d'explication de l'écart, il convient d'employer le plus grand de ces nombres.

5.11 S'il n'y a pas de données disponibles, il faudra procéder à une étude du nombre de mouvements aériens et des types d'aéronefs sur court à moyen terme (p. ex. un à six mois), en notant que la plupart des aéroports présentent normalement des différences saisonnières dans les nombres de mouvements.

Flotte aérienne, approche avancée

5.12 Comme dans le cas de l'approche simple, la première étape de l'approche avancée consiste à quantifier les opérations aériennes ou les CAD par type d'aéronef et ceux qui sont spécifiques à l'aéroport. En général, ces informations peuvent être obtenues directement dans les dossiers d'aéroport, où ils figurent sous la forme la plus exacte. Cependant, étant donné qu'aucune base de données n'est entièrement exacte et que des changements dus à la motorisation des aéronefs, à des combinaisons temporaires ou à d'autres considérations au fil du temps peuvent introduire des inexactitudes, il importe de recueillir le plus possible d'informations aussi près que possible de la source. S'il n'est pas possible d'accéder à ces informations, on pourra consulter les statistiques de trafic nationales, si elles sont disponibles. Des sources de données supplémentaires sont notamment les prestataires de services de navigation aérienne tels EUROCONTROL et la FAA des États-Unis, l'Internet et les autres sources décrites ci-dessous.

5.13 Dans l'approche avancée, on essaiera ensuite de faire correspondre les divers types d'aéronefs opérant à l'aéroport considéré avec les moteurs dont ils sont équipés. Les aéroports ont généralement des listes de combinaisons entre type d'aéronef et moteurs obtenues des transporteurs qui desservent l'aéroport. Si cependant ces renseignements ne sont pas disponibles, les États ont accès à plusieurs bases de données accessibles au public qui permettent d'apparier des types d'aéronefs avec certains moteurs. La Pièce jointe C au présent Appendice décrit ces importantes bases de données, qui peuvent aider les praticiens à identifier les combinaisons aéronef/moteurs caractérisant la composition de la flotte à un certain aéroport.

5.14 Parmi d'autres sources de renseignements, on peut citer la banque de données de l'Annuaire officiel international des compagnies aériennes (IOAG) qui contient des données identifiant le type d'aéronef, le transporteur et la fréquence des vols réguliers. De plus, l'IOAG contient des listes des vols réguliers de passagers assurés par les compagnies aériennes participantes, listes qui sont mises à jour chaque mois. Elle donne les principaux éléments de la détermination de la composition de la flotte à un certain aéroport, tels que types d'aéronefs, transporteurs et fréquence des arrivées et des départs, mais n'inclut pas les vols non réguliers et vols affrétés, ni les vols d'aviation générale, notamment les jets d'affaires. Elle couvre les vols de toutes les entreprises de transport aérien régulier des États-Unis et de la majorité des entreprises de transport aérien régulier du monde. La Pièce jointe C donne une description des champs utiles figurant dans la base de données IOAG. Les plus importants paramètres de l'IOAG pour un certain aéroport sont le numéro de vol, le type d'aéronef, le transporteur et l'horaire, lorsqu'il s'agit de déterminer le nombre d'opérations à un aéroport donné.

5.15 La base de données *BACK Aviation Solution's World Fleet Registration* contient des renseignements supplémentaires sur la flotte des compagnies aériennes, tels que les aéronefs commerciaux actuellement utilisés dans le monde et divers autres paramètres des aéronefs (voir la Pièce jointe C pour une liste des champs utiles). Aux fins d'un inventaire d'émissions, les paramètres les plus importants provenant de la base de données BACK (ou d'autres bases de données similaires) sont l'identifiant d'aéronef, le suffixe numérique, le modèle de moteurs, le nombre de moteurs et le type d'aéronef.

5.16 La base de données *JP Airline-Fleets International* de Bucher & Company (*JPFleets*) est une autre base de données accessible au public qui donne des combinaisons de type d'aéronef/moteurs pour les grandes entreprises de transport aérien commercial dans le monde (voir Pièce jointe C pour une liste de champs de données utiles).

5.17 La base de données *Airline Service Quality Performance* (ASQP) est disponible auprès du *Bureau of Transportation Statistics* (BTS) du Département des transports des États-Unis (U.S. DOT). Elle consiste en données de performance et de vol pour une vingtaine des plus grands transporteurs des États-Unis. La Pièce jointe C dresse la liste des champs utiles dans cette base de données. Le spécialiste notera que la base de données ASQP donne une bonne couverture pour les flottes qui opèrent aux États-Unis et dans les marchés qui leur sont associés à l'étranger.

5.18 En fonction des raisons de la constitution d'un inventaire d'émissions, une méthode différente d'attribution de moteurs aux aéronefs pourra être employée. Il y a une approche qui consiste à identifier les moteurs spécifiques employés pour le trafic aérien, ce qui sera fait en recueillant les informations sur les types d'aéronefs, les numéros des vols réguliers et les données d'arrivée/départ pour un aéroport donné (p. ex. en employant l'IOAG), puis à trouver, en employant les bases de données existantes décrites ci-dessus, les types de moteurs spécifiques attribués aux aéronefs identifiés. Si un tel degré de précision n'est pas nécessaire, une autre approche pourra être employée pour estimer les moteurs.

5.19 Cette autre approche repose sur les moteurs les plus courants dans la flotte mondiale. Si les données disponibles ne permettent pas d'identifier des combinaisons aéronef-moteurs spécifiques à un certain aéroport, celles-ci pourront être estimées. Une façon de le faire est d'extrapoler les informations sur les combinaisons aéronef-moteurs provenant d'une grande base de données, telle qu'une base de données sur la flotte aérienne mondiale. Par exemple, si la base de données de référence montre que X % des B777 dans la flotte mondiale ont des moteurs Y, il pourra être supposé aux fins d'un inventaire aéroportuaire que X % des B777 desservant cet aéroport ont des moteurs Y. Les États devraient savoir qu'un certain type d'aéronef peut être doté de plus d'un type ou sous-type de moteurs, pouvant à leur tour avoir différentes caractéristiques d'émission dans un inventaire mondial des compagnies aériennes. Des bases de données telles que BACK, JPFleets et autres peuvent être employées dans ces cas pour établir des distributions de moteurs sur la base des catégories de compagnies aériennes et d'aéronefs communiquées.

5.20 On se rappellera qu'aucune base de données n'est entièrement exacte, et que des changements dus à la motorisation des aéronefs, à des combinaisons temporaires, aux références croisées entre bases de données et à d'autres considérations peuvent introduire avec le temps des niveaux d'inexactitude encore plus grands. Il importe donc de réunir le plus possible d'informations, aussi près que possible de la source, pour réduire les incertitudes.

Mouvements aériens, approche avancée

5.21 Les besoins de l'approche avancée en ce qui concerne les mouvements aériens sont presque identiques à ceux de l'approche simple. Il faut connaître le nombre de mouvements aériens ou d'opérations par type d'aéronef et de moteurs. Lorsque les émissions pour un CAD sont calculées pour chaque combinaison aéronef/moteurs en employant les entrées et les équations ci-dessus, les émissions totales sont calculées en multipliant les émissions pour un CAD pour chaque combinaison aéronef/moteurs par le nombre correspondant de mouvements et en additionnant sur la gamme complète de combinaisons aéronef/moteurs et de mouvements pour la période considérée.

Flotte aérienne et mouvements, approche sophistiquée

5.22 Dans l'approche sophistiquée il est supposé que le modélisateur dispose des renseignements réels et exacts sur le type et le sous-type d'aéronef, ainsi que sur le nombre et le nom et la désignation exacts des moteurs pour chaque mouvement. L'appariement entre aéronef et moteur est fait au moyen du numéro d'enregistrement de l'aéronef en liaison avec l'identifiant unique (UID) du moteur (OACI ou autre).

5.23 Le nombre total de mouvements est tiré des informations sur les mouvements réels pour chaque aéronef desservant l'aéroport considéré. Chaque mouvement (atterrissage ou décollage) est inscrit par numéro d'enregistrement de l'aéronef, pour apporter les renseignements détaillés sur les moteurs. Par conséquent, le nombre de mouvements pour un certain type d'aéronefs pourrait ainsi inclure divers nombres de ce type mais avec des numéros d'enregistrement d'aéronefs qui varient.

6. CALCULS DES ÉMISSIONS DES MOTEURS PRINCIPAUX DES AÉRONEFS

Débit carburant et indices d'émission

6.1 Les moteurs d'aviation d'une puissance nominale supérieure à 26,7 kW sont certifiés par l'OACI en matière d'émissions pour les émissions de NO_x et HC et l'indice de fumée (SN) maximum, sur la base du CAD normalisé exposé dans l'Annexe 16, Volume II, et publiés initialement dans le Doc 9646 (1995) avec amendements sur le site web. Les données de certification en matière d'émissions sont publiées par l'OACI sur le site <http://www.easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>. Des mises à jour de la base de données EEDB sur les émissions des moteurs sont faites au fur et à mesure de la certification de nouveaux moteurs. On trouvera dans la Pièce jointe A un exemple tiré de l'EEDB de l'OACI. Des renseignements supplémentaires sur les émissions de particules des moteurs d'aéronef figurent dans la Pièce jointe D.

6.2 Lorsque les données OACI sur les moteurs sont employées pour calculer les émissions des moteurs, il importe de sélectionner la valeur moyenne mesurée pour le polluant et non le niveau caractéristique de polluant, qui figure également dans la banque de données OACI. Le niveau caractéristique d'un polluant gazeux ou de la fumée, calculé aux fins de la certification, contient des coefficients statistiques correspondant au nombre de moteurs soumis aux tests.

6.3 Pour la vaste majorité des moteurs d'aéronefs commerciaux utilisés aux grands aéroports, le débit carburant et les valeurs IE sont communiqués dans l'EEDB de l'OACI, aux quatre réglages de poussée de certification. Les IE des moteurs d'aviation sont donnés en grammes de polluant par kilogramme de carburant consommé (g/kg), et les débits de carburant pour chaque régime d'utilisation (mode) en kilogrammes par seconde (kg/s). L'OACI recommande d'utiliser l'IE communiqué et les valeurs du débit carburant pour le calcul des émissions provenant des moteurs principaux des aéronefs.

6.4 Il existe d'autres bases de données contenant des informations sur l'IE et le débit carburant pour les moteurs d'aviation qui ne sont pas certifiés ou réglementés par l'OACI. Deux des principales bases de données non OACI sont décrites ci-dessous.

6.5 L'Agence suédoise de recherche pour la défense (FOI) est dépositaire d'une base de données sur les IE pour turbopropulseurs, données qui sont communiquées par les motoristes aux fins de l'établissement d'inventaires d'émissions. Cette base de données n'est accessible au public que par l'intermédiaire de la FOI, mais le Conseil international de coordination des associations d'industries aérospatiales (ICCAIA) surveille de près qui demande à utiliser la base de données, pour s'assurer qu'il n'y en ait pas d'usage abusif. La base de données FOI n'est pas agréée par l'OACI car les données ne sont pas certifiées et pourraient comporter des inexactitudes résultant principalement de méthodologies d'essai non réglementées. Il y a aussi l'importante question d'un régime de ralenti approprié pour les turbopropulseurs. Même s'il ne s'agit pas de données sur les émissions des moteurs certifiées par l'OACI, ces informations sont ici mentionnées sachant que la base de données FOI peut aider des aéroports à réaliser des inventaires d'émissions. On ne dispose pas de documentation actuellement sur la façon dont les indices IE ont été obtenus ni sur les types de turbopropulseurs. Des renseignements sur les turbopropulseurs, les TIM suggérées et la façon d'obtenir les données de la FOI peuvent être demandés sur le site <https://www.foi.se/en/foi/research/aeronautics-and-space-issues/environmental-impact-of-aircraft.html>.

6.6 L'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) suisse a mis au point une méthodologie et un système de mesure pour obtenir des données sur les émissions d'aéronefs et d'hélicoptères à moteurs à piston. Une certification des émissions

n'étant pas exigée pour ces types de moteurs, les données OFAC sont une des rares sources de données disponibles pour effectuer des inventaires d'émissions en ce qui concerne les aéronefs qui en sont équipés. Les données OFAC n'ont cependant pas été corroborées par l'OACI, qui ne les entérine pas. Même s'il ne s'agit pas de données sur les émissions des moteurs certifiées par l'OACI, ces informations sont ici mentionnées sachant que les données OFAC peuvent aider des aéroports à effectuer des inventaires d'émissions pour certains aéronefs au sujet desquels il pourrait n'y avoir autrement aucune source de données. Le lecteur pourra consulter le site OFAC pour la documentation concernant le système de mesure des émissions, la méthodologie de mesure compatible et les recommandations concernant l'utilisation de ses données pour inventaires d'émissions simples utilisant les TIM suggérées. Tous les éléments peuvent être téléchargés sur le site www.bazl.admin.ch → Portal for Specialists → Regulations and Guidelines → Environment → Pollutant Emissions → Aircraft Engine Emissions.

Calculs des émissions — approche simple (option A)

Indices d'émission

6.7 Dans l'approche simple (option A), IE est remplacé par un facteur d'émission (FE)⁵, et le Tableau B-1 de la Pièce jointe B donne les facteurs d'émission pour cinq espèces de polluants pour chacun des aéronefs figurant dans la liste.

6.8 Le facteur d'émission est donné en kg de chaque espèce d'émissions par CAD par aéronef (et en nombre de particules). Ces indices ont été calculés sur la base du type de moteur représentatif pour chaque type générique d'aéronef et en employant les TIM OACI, réglages de poussée et autres hypothèses de base. D'autres hypothèses sont décrites dans les notes se rapportant au Tableau B-1 dans la Pièce jointe B.

Calcul des émissions

6.9 Pour les NO_x, HC, CO, nvPM_{mass}, nvPM_{number}, SO₂ et CO₂ il existe une méthode standard de calcul des émissions des moteurs d'aviation utilisant l'approche simple (option A). Pour chaque type d'aéronef, multiplier le nombre de CAD de cet aéronef (sur la période d'évaluation) par le facteur d'émission figurant au Tableau B-1 pour chacune des espèces de polluant puis additionner les valeurs pour tous les aéronefs afin d'obtenir la quantité totale d'émissions (en kg) pour chaque polluant. Voir l'équation générique suivante :

$$\begin{array}{l} \text{émission de l'espèce X} \\ \text{(en kg)} \end{array} = \sum_{\text{aéronefs}} \begin{array}{l} \text{(nombre de CAD)} \\ \text{des aéronefs Y} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{(facteur d'émission)} \\ \text{pour espèce X.} \end{array} \quad \text{Éq. 3-A1-1}$$

6.10 Il est à noter que cette équation ne tient pas compte des types de moteurs spécifiques, des régimes d'utilisation (modes) ou des TIM car elle suppose que les conditions à l'étude sont les mêmes que les données par défaut utilisées, ou similaires.

5. IE = indice d'émission, exprimé en g de polluant par kg de carburant l ; FE = facteur d'émission, exprimé comme masse de polluant par unité spécifiée (p. ex. aéronef).

6.11 Si l'inventaire l'exige, un processus semblable est employé pour la consommation de carburant au cours de la période considérée, en utilisant les données de consommation de carburant du Tableau B-1 :

$$\text{consommation de carburant (en kg)} = \sum_{\text{tous aéronefs}} (\text{nombre de CAD des aéronefs } Y) \times (\text{consommation de carburant}). \quad \text{Éq. 3-A1-2}$$

Calcul des émissions — approche simple (option B)

« Durée de phase » de l'aéronef (TIM)

6.12 Comme on l'a vu plus haut, la TIM de référence employée dans le processus OACI de certification des émissions des moteurs (et figurant dans l'EEDB de l'OACI) convient seulement pour le processus de certification des moteurs et n'est pas représentative du CAD réel des aéronefs en exploitation dans le monde réel (voir les § 2.1 à 2.8). Néanmoins, la TIM par défaut OACI peut donner une estimation prudente des émissions des aéronefs à un aéroport lorsque des données CAD de circulation/ralenti au sol spécifiques à l'aéroport ou des méthodes raffinées d'estimation des temps de décollage, de montée et d'approche ne sont pas disponibles. Les analyses de sensibilité effectuées par le CAEP ont montré que l'exécution d'un inventaire d'émissions des aéronefs utilisant les TIM de certification OACI (ainsi que le débit carburant et l'IE) donne normalement une surestimation des émissions totales des aéronefs sur l'ensemble du CAD.

6.13 La TIM par défaut OACI est applicable principalement aux moteurs soumis à réglementation, mais il pourrait y avoir d'autres TIM par défaut pour d'autres types de moteurs (p. ex., turboréacteurs, turbopropulseurs, moteurs à piston ou hélicoptères non soumis à réglementation). Les autorités nationales de l'aviation ou de l'environnement sont parmi les sources de telles informations (p. ex., la TIM suggérée la FOI pour les turbopropulseurs).

Méthodologies de calcul des émissions pour NO_x, CO, HC, nvPM_{mass} et nvPM_{number}

6.14 L'identification du type d'aéronef permettra de déterminer le nombre de moteurs et les modèles de moteur appropriés. À son tour, le modèle de moteur déterminera l'IE approprié pour calculer les émissions des aéronefs.

6.15 Pour déterminer les émissions de NO_x, CO, HC, nvPM_{mass} ou nvPM_{number} pour une certaine combinaison aéronef/moteurs, la formule suivante peut être appliquée. Cette méthode sera répétée pour chaque type aéronef/moteurs représentant chaque TIM pour établir un inventaire d'émissions complet.

$$E_{ij} = \sum (TIM_{jk} * 60) * (FF_{jk}) * (E_{ijk}) * (N_{ej}) \quad \text{Éq. 3-A1-3}$$

où :

- E_{ij} = émissions totales du polluant i , par exemple NO_x, CO, HC, nvPM_{mass} (en grammes) ou nvPM_{number} (en nombre de particules), produites par type d'aéronef j pour un CAD ;
- E_{ijk} = indice d'émission pour le polluant i , par exemple NO_x, CO, HC, nvPM_{mass} [en grammes par polluant par kilogramme de carburant (g/kg de carburant)], ou nvPM_{number} [en nombre de particules par kg de carburant (#/kg de carburant)], en mode k (p. ex. décollage, montée, ralenti ou approche) pour chaque moteur utilisé sur le type d'aéronef j ;
- FF_{jk} = débit carburant pour le mode k (décollage, montée, ralenti ou approche), en kilogrammes par seconde (kg/s), pour chaque moteur employé sur le type d'aéronef j ;

TIM_{jk} = durée en phase pour le mode k (ralenti, approche, montée ou décollage), en minutes, pour type d'aéronef j ;

Ne_j = nombre de moteurs utilisés sur le type d'aéronef j.

6.16 Si la TIM réelle mesurée pour un ou plusieurs des régimes (modes) d'utilisation existe et est utilisée, les différentes phases de vol doivent alors être calculées séparément et les émissions totales pour chaque espèce devront être additionnées pour obtenir les émissions totales pour chaque type d'aéronef/de moteur.

6.17 L'OACI n'a pas de normes de certification des émissions pour SO_x . Cependant, les émissions de SO_x sont fonction de la quantité de soufre dans le carburant. L'EPA des États-Unis a mené une enquête sur la teneur en soufre pour le carburéacteur d'aviation commerciale, enquête qui a donné une moyenne pour les États-Unis de 1 gramme par 1 000 grammes de carburant consommé (IE $SO_x = 1$ g/kg de carburant). Il ne faudrait pas se fier à cette moyenne lorsque des données validées sont nécessaires, mais elle pourra être utilisée pour un inventaire des émissions de SO_x en utilisant l'équation suivante :

$$E_j = \sum (TIM_k * 60) * (Er_{jk}) * (Ne_j) \quad \text{Éq. 3-A1-4}$$

où :

E_j = émissions totales de SO_x , en grammes, produites par le type d'aéronef j pour un CAD ;

Ne_j = nombre de moteurs utilisés sur le type d'aéronef k ;

Er_{jk} = $1 * (FF_{jk})$;

où :

Er_{jk} = taux d'émission de SO_x total en unités de grammes de SO_x émises par seconde par mode k d'utilisation pour le type d'aéronef j ;

FF_{jk} = débit carburant par mode communiqué en kilogrammes par seconde (kg/s) par mode k d'utilisation pour chaque moteur utilisé sur le type d'aéronef j.

6.18 La disponibilité d'IE mesurés de manière normalisée pour les nvPMmass et nvPMnumber devrait augmenter en raison de l'adoption de la première norme OACI sur les émissions de particules des moteurs d'aviation, applicable à compter du 1^{er} janvier 2020 à tous les réacteurs à turbosoufflante dont la puissance nominale est supérieure à 27,6 kN. Jusqu'à ce que les IE certifiés en masse et en nombre des nvPM soient disponibles, les IE devront être estimés pour les besoins des inventaires des émissions aéroportuaires. Dès que les valeurs certifiées de nvPM seront disponibles, elles devraient être utilisées en remplacement des valeurs estimées. Les particules volatiles sont indirectement régulées par les limites de HC et de NO_x et par les spécifications du carburant. Aucune données de mesure certifiées pour les particules volatiles ne sont attendues, et des estimations seront toujours nécessaires à long terme. Les estimations d'émissions de $PM_{2,5}$ et de PM_{10} des gaz d'échappement seront améliorées une fois que les données certifiées pour les nvPMmass seront disponibles, mais la composante concernant les particules volatiles devra toujours être estimée intégralement.

6.19 Dans le contexte de l'élaboration de la nouvelle réglementation sur les nvPM, la méthode provisoire d'approximation de premier ordre, 3^e version (FOA3.0), qui était présentée dans une édition précédente du présent document, a été actualisée. Elle comprend notamment une relation plus solide entre le SN et la concentration de nvPMmass, l'amélioration de certaines constantes et, pour la première fois, l'inclusion d'une estimation brute du nombre de nvPM. La méthode d'estimation pour les particules volatiles fondée sur les caractéristiques du carburant et le contenu en soufre proposée dans la méthode FAO3.0 n'a pas changé. La méthode actualisée complète est présentée dans la Pièce jointe D et est appelée méthode FOA4.0. Comme pour les versions précédentes de la FOA, la FOA4.0 est destinée

à être utilisée seulement pour les besoins de l'inventaire des émissions aux alentours des aéroports et ne devraient pas être utilisées lorsque des données validées et précises sont nécessaires. Le CAEP s'est engagé à actualiser en continu la FOA4.0 à mesure que les données et les progrès scientifiques seront disponibles.

Calcul des émissions — approche avancée (options A et B)

6.20 Les méthodes avancées de calcul des émissions utilisent des modèles de performance qui prennent en compte ou modélisent les informations opérationnelles relatives à des aéronefs spécifiques. Il faut donc des renseignements additionnels que le modélisateur pourra obtenir plus facilement de sources publiques, et qui peuvent comprendre : informations sur l'aéronef (masse au décollage, moteurs réels) ; informations sur l'aéroport (altitude du terrain d'aviation, longueur de la piste en service) ; informations sur les conditions ambiantes (vitesse et direction du vent, turbulence, pression, température, humidité) ; et informations opérationnelles (destination, poste de stationnement, piste, itinéraire de départ, itinéraire d'approche et radioalignement de descente, utilisation de GAP). Les renseignements réellement nécessaires, qui dépendent du modèle utilisé, pourront varier. Voir aussi le Tableau 3-A1-2 pour orientations supplémentaires sur les paramètres à employer.

Niveaux de poussée

6.21 Alors que le CAD de certification suggère des réglages de poussée spécifiques pour chaque mode d'utilisation, tout CAD opérationnel peut avoir différents modes d'utilisation avec réglages de puissances plus individualisés (cf. section 3). Pour des raisons de performance et d'économie, la pression de décollage est souvent inférieure aux 100 % de la certification. De plus en plus d'aéronefs sont exploités avec poussées flexibles, parfois en combinaison avec des options de poussée détarée. Cela pourrait s'appliquer à la phase décollage d'un vol ainsi qu'à d'autres phases de vol dans le cycle décollage-atterrissage.

6.22 Comme option A, un niveau de poussée moyen d'aéroport et/ou un niveau de pression réduit spécifique à un groupe d'aéronefs peut être connu principalement pour la phase de décollage, mais pourrait l'être aussi pour d'autres phases. De telles informations pourraient provenir de données empiriques, provenant par exemple d'un exploitant aérien, et être extrapolées sur le total des opérations.

6.23 Dans l'option B, il convient d'utiliser un modèle dédié de performance d'aéronef qui donne un niveau de poussée opérationnel utilisant des paramètres supplémentaires, accessibles au public, qui sont propres au modèle. Le niveau de poussée pourrait être modélisé soit pour le décollage seulement, soit pour tous les modes du CAD.

Durée de phase (TIM)

6.24 Comme option A, les aéroports sont encouragés à mesurer les temps de circulation propres à la structure des voies de circulation de l'aéroport, tant pour la circulation au sol de la piste vers le terminal à l'arrivée que pour la circulation au sol au départ, y compris éventuellement les temps en file d'attente aux pistes de départ. L'utilisation des valeurs mesurées des temps de circulation pour l'aéroport sur lequel porte l'étude pourrait mieux rendre compte des émissions pour le mode circulation/ralenti du CAD. De telles données pourraient être obtenues, par exemple, à partir des temps de toucher des roues, sur cales (*on-block*), cales enlevées (*off-block*) et de décollage pour toutes les combinaisons possibles poste de stationnement/piste, ou comme valeur par défaut pour l'aéroport.

6.25 Comme option B, la TIM pourrait aussi être modélisée pour d'autres modes que celui de circulation au sol seulement. Cette option comprendrait fort probablement une approche de modélisation de performance des aéronefs, donnant une TIM pour un groupe d'aéronefs ou même une TIM pour un certain type d'aéronef pour les modes considérés dans cette approche (p. ex. davantage que seulement les quatre modes de la certification OACI).

Débit carburant

6.26 Pour l'option A, une relation utilisant les données de débit carburant et de poussée de certification provenant de la base de données EEDB de l'OACI a été mise au point pour déterminer un débit carburant à tout niveau de poussée souhaité entre 60 % et 100 %.

Note.— Les niveaux de poussée sont un pourcentage du régime nominal de poussée et représentent la poussée choisie par le pilote. Ils ne représentent pas la poussée réelle fournie par le moteur (poussée nette corrigée).

6.27 Cette méthodologie permet le calcul exact du débit carburant à niveaux de poussée au décollage réduits qui, dans certains cas, pourraient être aussi bas que 60 % de la poussée nominale. À partir de ce débit, les IE correspondants peuvent être calculés en utilisant la méthode 2 de Boeing pour le calcul du débit de carburant (BFFM2). Une méthode quadratique double, décrite ci-dessous, a été mise au point.

6.28 La méthode quadratique double comprend le calcul du débit carburant par rapport à la poussée, pour des poussées supérieures à 60 % de la poussée nominale maximale. Les données requises de débit carburant et de poussée pour définir les deux courbes sont disponibles dans l'EEDB de l'OACI pour les moteurs certifiés. La méthodologie est la suivante :

- a) poussée de 60 % à 85 % : définie par une équation quadratique basée sur une poussée de 7 %, 30 % et 85 % et les points de débit carburant associés ;
- b) poussée de 85 % à 100 % : définie par une équation quadratique basée sur une poussée de 30 %, 85 % et 100 % et les points de débit carburant associés.

Ces deux équations quadratiques sont définies de façon unique par leurs trois points et se rencontrent à une poussée de 85 %. Les pentes des deux courbes à 85 % de poussée peuvent être différentes (c'est la déviation que montre le schéma de la Figure 3-A1-2).

6.29 Une équation quadratique passant par trois points sur la courbe non dimensionnée de débit carburant par rapport à la poussée comporte les paramètres suivants :

$X = (\text{poussée})/(\text{poussée nominale maximum})$, équation quadratique définie par les valeurs X_1, X_2, X_3 ;

$Y = (\text{débit/carburant})/(\text{débit carburant @ poussée nominale maximale})$, valeurs Y_1, Y_2, Y_3 .

Ce qui donne :

$$Y = AX^2 + BX + C$$

avec trois points connus :

$$Y_1 = AX_1^2 + BX_1 + C$$

$$Y_2 = AX_2^2 + BX_2 + C$$

$$Y_3 = AX_3^2 + BX_3 + C$$

Cela permet de résoudre l'équation pour A, B et C comme :

$$A = (Y_3 - Y_1)/((X_3 - X_1) * (X_1 - X_2)) - (Y_3 - Y_2)/((X_3 - X_2) * (X_1 - X_2))$$

$$B = (Y_3 - Y_1)/(X_3 - X_1) - A * (X_3 + X_1)$$

$$C = Y_3 - A * X_3^2 - B * X_3$$

A, B et C varient pour différents UID des moteurs.

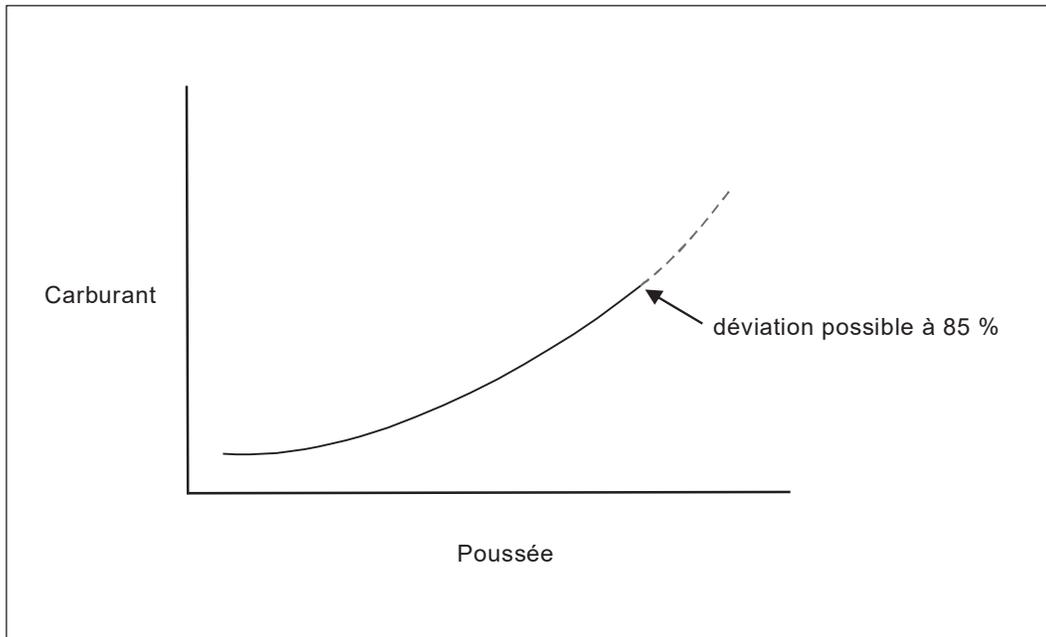


Figure 3-A1-2. Schéma illustrant un ajustement de courbe quadratique double

Pour sélection de poussées entre 85 % et 100 % de la poussée nominale

6.30 Des points connus de l'EEDB de l'OACI pour l'UID moteur à 30 %, 85 % et 100 % sont utilisés pour obtenir, comme ci-dessus, A, B et C, qui seront ensuite utilisés dans l'équation quadratique générique :

$$Y = AX^2 + BX + C$$

où X est (poussée choisie) / (poussée nominale maximum)

pour donner Y = ((débit carburant souhaité) / (débit carburant à la poussée nominale maximum)) à la poussée choisie.

6.31 Le débit carburant à la poussée choisie est obtenu en multipliant Y par le débit carburant tiré de l'EEDB de l'OACI à la poussée nominale maximale. La courbe quadratique supérieure est appliquée entre 85 % et 100 % de poussée nominale seulement.

Pour sélection de poussées entre 60 % et 85 % de la poussée nominale

6.32 Des points connus de la banque de données pour l'UID moteur à 7 %, 30 % et 85 % sont utilisés pour obtenir, comme ci-dessus, A, B et C, qui seront ensuite utilisés dans l'équation quadratique générique :

$$Y = AX^2 + BX + C$$

où X est (poussée choisie) / (poussée nominale maximale)

pour donner Y (= (débit carburant) / (débit carburant à la poussée nominale maximale)) à la poussée choisie.

6.33 Le débit carburant à la poussée choisie est obtenu en multipliant Y par le débit carburant à la poussée nominale maximale tiré de l'EEDB de l'OACI. La courbe quadratique inférieure est appliquée entre 60 % et 85 % de poussée nominale seulement.

Exemple de calcul pour Rolls-Royce Trent 553-61, UID 8RR044

- 1) Détermination de courbe quadratique entre 85 % et 100 % de poussée nominale

$$X1 = 0,30$$

$$X2 = 0,85$$

$$X3 = 1,00$$

avec données de débit carburant de l'EEDB de l'OACI :

$$Y1 = 0,2844$$

$$Y2 = 0,8199$$

$$Y3 = 1,0000$$

$$\rightarrow A = 0,3242$$

$$\rightarrow B = 0,6009$$

$$\rightarrow C = 0,07491$$

$$\rightarrow Y = 0,3242 X^2 + 0,6009 X + 0,0749$$

(1)

- 2) Détermination de courbe quadratique entre 60 % et 85 % de poussée

$$X1 = 0,07$$

$$X2 = 0,30$$

$$X3 = 0,85$$

avec données de débit carburant provenant de l'EEDB de l'OACI

$$Y1 = 0,1090$$

$$Y2 = 0,2844$$

$$Y3 = 0,8199$$

$$\rightarrow A = 0,2709$$

$$\rightarrow B = 0,6622$$

$$\rightarrow C = 0,0613$$

$$\rightarrow Y = 0,2709 X^2 + 0,6622 X + 0,0613$$

(2)

- 3) Résultats pour la poussée choisie (exemples)

poussée 70 % ($X = 0,7$) : équation (2) : $Y = 0,6576$ → multiplier par le débit carburant à la poussée nominale maximum de l'EEDB de l'OACI → débit carburant = 1,388 kg/s

poussée 90 % ($X = 0,9$) : équation (1) : $Y = 0,8783$ → multiplier par le débit carburant à la poussée nominale maximum de l'EEDB de l'OACI → débit carburant = 1,853 kg/s.

6.34 Pour l'option B, un modèle de performance serait utilisé pour obtenir/calculer des données opérationnelles de débit carburant en utilisant diverses données supplémentaires (p. ex. ATOW ou longueur d'étape ou renseignements pertinents pour le calcul du débit carburant) conjointement avec l'EEDB de l'OACI. Des modèles tels que BADA ou PIANO ou ADAECAM, par exemple, peuvent être employés.

Indices d'émission

6.35 **Option A.** Les indices d'émission pour l'option A seront calculés à partir de données de l'EEDB de l'OACI en employant la méthode « interpolation linéaire à double échelle logarithmique » utilisée dans la BFFM2, avec les données de débit carburant calculées par la méthodologie exposée au § 6.29.

6.36 **Option B.** Les indices d'émission « opérationnels » sont tirés des données de l'EEDB de l'OACI en employant la méthode « interpolation linéaire à double échelle logarithmique » utilisée dans la BFFM2, avec les données de débit carburant opérationnelles obtenues par la méthode décrite au § 6.34.

Application de paramètres supplémentaires qui pourraient influencer sur les émissions, s'il y a lieu

Mises en garde importantes pour les modélisateurs qui emploient des méthodes avancées

6.37 Contrairement à l'approche simple, différentes méthodes groupées sous le titre de méthodes avancées peuvent inclure déjà certains aspects des corrections pour des paramètres additionnels tels que les conditions ambiantes. Il importe d'éviter dans ces cas un double comptage. L'application des corrections pourra donc varier d'une méthode à une autre. Il importe aussi d'avoir conscience du fait que des conditions ambiantes suffisamment éloignées des conditions normales pourraient faire que l'avion ou le moteur atteigne les limites opérationnelles. Par exemple, de nombreux moteurs ne seront pas capables de fournir la poussée nominale totale au-delà d'une certaine limite de température (généralement ISA + 15°C, mais cette limite varie). Le modélisateur veillera à ne pas extrapoler une méthodologie au-delà des conditions pour lesquelles elle est valable.

Application à l'approche avancée option B

6.38 Si un modèle de performance d'aéronef est employé pour calculer les conditions de fonctionnement de l'avion et des moteurs (option B avancée), il devrait déjà inclure les effets de la vitesse de déplacement sur le débit carburant. Il pourrait inclure aussi, selon le modèle, les effets des conditions ambiantes. Le modélisateur devrait savoir comment le modèle fonctionne. S'il est nécessaire de corriger davantage le modèle de performance de l'avion et/ou le débit carburant pour prendre ces effets en compte avec précision, le modélisateur devrait le faire à ce stade.

6.39 Après que la performance de l'avion et le débit carburant auront été déterminés correctement selon l'option B avancée, les IE devraient être calculés par une méthode utilisant le débit carburant. La méthode BFFM2 est une telle méthode, bien documentée⁶. Selon les besoins du modélisateur et les données disponibles, d'autres méthodes pourront être employées, bien que la BFFM2 soit recommandée comme option par défaut.

6.40 Telle qu'elle est décrite dans le document SAE AIR5715, la BFFM2 tient compte des effets des conditions ambiantes et de la vitesse de déplacement. Il importe de reconnaître que si les effets des conditions ambiantes et de la vitesse de déplacement doivent être pris en compte, il ne suffit pas d'employer seulement le calcul initial des IE provenant des méthodes d'ajustement définies pour la BFFM2. La BFFM2 complète inclut cependant des corrections pour ces deux effets, de sorte qu'il ne serait pas nécessaire, si elle est employée, d'apporter d'autres corrections aux IE.

6. SAE AIR5715.

Application à l'approche avancée, option A

6.41 Les méthodes qui entrent dans l'option A de l'approche avancée, tout en étant moins sophistiquées et précises, peuvent être aussi plus compliquées à ajuster pour les conditions ambiantes. Il pourrait d'abord être nécessaire d'ajuster les performances de l'avion (poussée, TIM, etc.) pour tenir compte des conditions ambiantes. Ensuite, étant donné que le débit carburant aurait été calculé pour le niveau de poussée pertinent aux conditions statiques ISA (parce que le débit carburant n'est pas basé sur un modèle de performance de l'aéronef dans cette option), il serait nécessaire d'appliquer des corrections aussi bien pour les conditions ambiantes que pour la vitesse de déplacement. Le résultat serait un débit carburant corrigé pour les deux ensembles de conditions, mais sans la précision (ou la résolution spatio-temporelle) d'un modèle « option B ».

6.42 Le calcul des IE et leur correction pour les effets des conditions ambiantes et de la vitesse de déplacement pourrait ensuite employer la même approche que pour l'option B de la méthode avancée. Cependant, le débit carburant et les conditions de vol n'étant pas connus avec le même degré de résolution que dans le cas de l'option B, les résultats obtenus lors de l'application d'une méthode telle que la BFFM2 pourraient n'être pas exacts, voire pas bien définis. La BFFM2 est définie seulement à des conditions de vol entièrement spécifiées⁷ et ne peut être appliquée directement à un « mode » entier, tel le décollage ou la montée. Soit des conditions de vol entièrement spécifiées représentant l'avion pour la TIM entière pourraient être supposées, soit, autrement, une méthode différente devrait être utilisée pour déterminer les IE. Cette méthode différente pourrait être une variante de la BFFM2, ou être sans lien avec celle-ci. Ainsi l'application de corrections pour la vitesse de déplacement et les conditions ambiantes à un calcul option A avancée dépendra des détails du modèle et des besoins du modélisateur.

Effets de l'altitude

6.43 Les effets de l'altitude sur un moteur d'aviation sont régis par la pression, la température et l'humidité locales. Les effets de l'altitude sur les émissions des moteurs seront donc correctement traités si les approches décrites ci-dessus sont appliquées et si les conditions ambiantes employées sont celles que l'avion en vol rencontre localement.

Dégradation des moteurs

6.44 Alors que les avionneurs/motoristes conçoivent toujours leurs produits pour une efficacité maximale à la livraison, une certaine dégradation de la performance peut se produire au fil du temps lorsque les aéronefs sont en service commercial, du fait des environnements rigoureux dans lesquels aéronefs et moteurs devront fonctionner. L'érosion, la détérioration de joints et le dépôt de saleté sur les pièces en rotation finement ajustées ou les cellules peuvent entraîner sur de longues périodes une perte de performance. Si elle n'est pas enrayée, la dégradation pourrait entraîner des hausses de consommation de carburant perceptibles avec le temps. Celles-ci entraînant inutilement une augmentation des dépenses des transporteurs, ils procéderont normalement à un entretien de leurs produits pour maintenir la perte de performance à des niveaux acceptables. Une analyse faite par le groupe de travail 3 (WG3) du CAEP, qui a évalué l'incidence de la dégradation des aéronefs/moteurs, donne les orientations suivantes sur quand et comment appliquer une dégradation lors de l'exécution d'inventaires aéroportuaires.

6.45 Aux fins des inventaires aéroportuaires (c.-à-d. CAD au-dessous de 3 000 ft) la dégradation en service de la cellule et des moteurs a un effet léger mais réel sur la consommation de carburant et les émissions de NO_x. Il n'y a pas de preuves qui indiqueraient des effets d'une dégradation sur CO ou HC. Pour la fumée et les nvPM, il n'y a pas de preuve d'effets de dégradation pour certains des moteurs testés. Il faudra pousser l'analyse plus loin. Pour le moment, on ne peut indiquer de corrections à l'échelle d'une flotte.

7. Entièrement spécifié : vecteur d'état (position 3-D, vitesse, attitude), paramètres moteur et configuration de la cellule sont connus.

6.46 Comme mesure d'économie, les compagnies aériennes prennent des précautions pour maintenir au minimum les effets de dégradation en établissant des programmes d'entretien régulier. Sur la base d'analyses de données théoriques et de données réelles des compagnies aériennes, l'ampleur des effets de la dégradation à l'échelle d'une flotte aérienne peut s'établir comme suit :

Consommation de carburant	+3 %
Émissions de NO _x	+3 %
Émissions de CO	aucun changement
Émissions de HC	aucun changement
Indice de fumée	aucun changement
nvPM _{mass} et nvPM _{number}	aucun changement

6.47 Pour une application à la modélisation, y compris les inventaires d'émissions, le bon usage de ces renseignements sur la dégradation dépend du modèle/de l'hypothèse et des données utilisées comme entrées. Plus précisément, les modèles et hypothèses peuvent déjà inclure une marge de dégradation, explicitement (données opérationnelles réelles du moteur ou données réelles en service étalonnées/validées) ou implicitement (facteurs de correction de débit carburant prudents appliqués aux valeurs de certification des moteurs) ou être déjà d'une prudence qui dépasse sensiblement les effets de la dégradation sur la consommation de carburant et les émissions de NO_x. On veillera à éviter un double comptage.

6.48 L'approche simple représente une surestimation significative des émissions et de la consommation de carburant des aéronefs. Sa marge de prudence est suffisamment grande pour qu'il n'y ait pas à appliquer des effets de dégradation.

6.49 L'approche avancée permet d'appliquer différents réglages de poussée aux méthodologies utilisant le débit carburant, et permet certains calculs de performance des aéronefs. Les résultats seront plus précis que ceux de l'approche simple, mais la comparaison avec les données des enregistreurs de données de vol (FDR) donne à penser que, pour les méthodes couramment employées, il y a encore un certain niveau de prudence, à l'échelle d'une flotte aérienne, dans les calculs de débit carburant résultant de l'emploi de la TIM, de la masse au décollage (TOW) et de réglages des manettes basés sur une estimation de performance dans le CAD. Les facteurs de dégradation sont considérés moindres que la prudence intrinsèque que la méthode comporte déjà, et l'application de facteurs de dégradation n'est donc pas recommandée.

6.50 Lorsque l'approche sophistiquée utilise des données de performance opérationnelle réelle des moteurs/aéronefs (y compris le débit carburant opérationnel), les effets de dégradation réels sont intrinsèquement inclus. Ici non plus, l'application de facteurs de dégradation n'est pas recommandée.

6.51 Il pourrait y avoir une exception à cette recommandation si l'on emploie une combinaison des méthodes avancée et sophistiquée utilisant des combinaisons moteurs/aéronef réelles ou des TIM, TOW et réglages des manettes moyens ou mesurés, en combinaison avec des débits carburant calculés à partir des données de certification OACI. En pareil cas, l'application de facteurs de dégradation est recommandée.

6.52 La dégradation de la consommation de carburant ne devrait être appliquée qu'à la modélisation aux abords des aéroports (CAD) ; il ne convient pas de l'employer pour une modélisation globale lorsque le facteur de dégradation serait différent des valeurs ici indiquées.

Calcul des émissions au démarrage

6.53 Pendant la séquence de démarrage, fort peu d'émissions de NO_x sont produites en comparaison du CAD, du fait des très basses températures et pressions des moteurs, et les seules émissions à prendre en considération pendant la séquence de démarrage sont les HC. Le démarrage des moteurs principaux des aéronefs peut généralement être divisé en deux phases : pré-allumage et post-allumage.

Pré-allumage moteur

6.54 La phase de pré-allumage représente l'intervalle de temps entre le moment où le moteur a été lancé à l'aide d'un démarreur et l'admission du carburant dans la chambre de combustion pour l'allumage. Plusieurs secondes peuvent s'écouler entre le lancement du démarreur et l'allumage, mais aucun carburant n'entre dans le moteur lorsque le système carburant s'amorce et que le robinet carburant est fermé. Des temps de démarrage rapides étant nécessaires, le système de combustion est conçu de telle façon que l'allumage se produise dès la première ou deuxième étincelle de l'allumeur, généralement dans un délai d'une seconde de l'ouverture du robinet carburant, sans dépasser deux secondes. Cela a été confirmé aussi à partir d'essais au banc par des constructeurs utilisant un accès optique pour voir l'arrivée du carburant et observer le temps d'allumage.

6.55 Les émissions pré-allumage seraient purement des HC du carburant, la combustion n'ayant pas commencé, de sorte qu'aucun carburant n'est consommé dans la chambre de combustion. Cela permet de calculer les émissions de HC directement à partir du débit carburant. Pendant le pré-allumage, il se passe trois choses :

- a) le robinet carburant est ouvert ;
- b) le système injecteur carburant se remplit et le carburant commence à couler ;
- c) l'allumeur commence à produire des étincelles et allume la chambre de combustion.

Post-allumage moteur

6.56 À ce point, le processus de démarrage se produit en conditions de faible charge du moteur. Les émissions prendront alors principalement la forme d'émissions de HC et CO. L'influence sur les émissions de nvPM n'est pas connue actuellement : la mesure directe des émissions au démarrage est rendue difficile par le carburant non brûlé ou partiellement brûlé, contaminant le matériel d'échantillonnage des gaz. Après l'allumage à une charge du moteur particulièrement basse, comme cela serait le cas lors du démarrage des moteurs, les émissions de HC dominent. Pour cette raison, il n'est pas déraisonnable d'attribuer les émissions au démarrage à HC seulement, ce dont résulte une estimation prudente des émissions de HC. Les émissions de CO peuvent être supérieures à celles de HC pour certains moteurs à 7 % de ralenti et plus bas, et les émissions de HC post-allumage peuvent donc être sensiblement inférieures à l'estimation basée sur l'efficacité de combustion. Des mesures d'émissions détaillées seraient nécessaires pour donner une estimation plus précise des émissions de HC.

6.57 Les émissions post-allumage sont déterminées du point d'allumage jusqu'à l'accélération pour le ralenti. La chambre de combustion brûle maintenant du carburant, et il faut donc considérer le taux de consommation pour déterminer les émissions avec précision. Il est fort difficile d'échantillonner le gaz et les particules sur les moteurs en régime inférieur au ralenti car des quantités importantes de carburant non brûlé ou partiellement brûlé ont tendance à contaminer le matériel d'échantillonnage. Pour contourner cette question, l'analyse est effectuée en utilisant des corrélations d'efficacité de combustion qui auront été déterminées par des essais au banc de la chambre de combustion en régime inférieur au ralenti. Ces corrélations sont basées sur la température et la pression à l'entrée de la chambre de combustion, l'écoulement de la masse d'air dans celle-ci, le débit carburant et le rapport carburant-air. Cette approche pour déterminer l'efficacité de combustion et le dégagement de chaleur est courante chez tous les motoristes. Étant donné que les mesures des émissions de nvPM sont récentes, il est nécessaire de mieux comprendre les estimations de nvPM en régime inférieur au ralenti.

6.58 L'efficacité instantanée de la chambre de combustion est calculée et l'inefficacité obtenue est attribuée comme pourcentage de carburant non brûlé représentant les émissions de HC. Si l'on utilise ce processus pendant toute l'accélération jusqu'au ralenti, on pourra utiliser la somme des émissions instantanées de HC pour obtenir une estimation prudente des émissions totales de HC post-allumage du moteur.

6.59 L'ICCAIA a effectué une analyse détaillée des données de démarrage de moteurs de General Electric (GE), de Rolls Royce (RR), d'International Aero Engines (IAE) et de Pratt & Whitney (P&W) et a mis au point une méthode d'estimation des émissions de démarrage totales sur la base de la poussée nominale au niveau de la mer du moteur en question. Les résultats de cette étude ont été présentés au WG3 du CAEP dans la note de travail CAEP8-WG3-CETG-WP06. L'ICCAIA recommande dans cette note une relation linéaire simple de premier ordre entre HC et la poussée nominale du moteur au décollage. L'équation recommandée est :

$$\text{émissions de HC au démarrage (grammes)} = \text{poussée au décollage nominale (kN)/2} + 80. \quad \text{Éq. 3-A1-5}$$

Note.— Cette analyse est basée sur des essais moteurs réels exécutés à des conditions de température d'entrée modérée. La méthodologie d'obtention des émissions de HC au démarrage est une méthodologie prudente car elle ne tient compte d'aucun CO lors du démarrage. De plus, son application à tous les moteurs peut être optimiste pour des moteurs anciens où les contrôles de distribution du carburant ne sont pas aussi sophistiqués. La méthodologie tient compte aussi des temps d'allumage types et des temps de démarrage types qui, en pratique, pourraient être très divers et seraient plus longs dans des conditions de grand froid. Il serait raisonnable de dire que l'incertitude de la méthodologie est de l'ordre de $\pm 50\%$.

Méthodologie de calcul avancée pour NO_x, CO et HC

6.60 Le calcul des masses d'émissions dans l'approche avancée utilise des données, renseignements et modèles existants additionnels. Les émissions d'un aéronef sont donc fonction (*f*) des paramètres clés et des options choisies. Il en résulte un calcul basé sur la performance, utilisant diverses données et informations supplémentaires qui devraient donner un inventaire d'émissions plus exact qui sera propre à l'aéroport spécifique et à l'année d'étude considérés.

6.61 Afin de déterminer les émissions de NO_x, CO, HC ou nvPM_{mass} et nvPM_{number} pour une combinaison aéronef/moteurs particulière, la formule suivante pourra être utilisée. Cette méthode sera répétée pour chaque combinaison de type d'aéronef/de moteur et chaque mouvement.

$$E_{ij} = \sum (TIM_{jk} * 60) * f(FF_{jk}, E_{ijk} \text{ ou } \text{Poussée}_{jk}, \text{Cond}_j, Ne_j) \quad \text{Éq. 3-A1-6}$$

où :

E_{ij} = émissions totales du polluant *i*, par exemple NO_x, CO, HC, nvPM_{mass} (en grammes) ou nvPM_{number} (en nombre de particules) produites par un certain aéronef *j* pour un CAD ;

E_{ijk} = l'indice d'émission pour le polluant *i*, par exemple NO_x, CO, HC, nvPM_{mass} [en grammes de polluant par kilogramme de carburant (g/kg de carburant)] ou nvPM_{number} [en nombre de particules par kg de carburant (#/kg de carburant)], en mode *k* (p. ex. décollage, montée, ralenti ou approche) pour chaque moteur utilisé sur l'aéronef *j* ;

FF_{jk} = débit carburant pour le mode *k*, en kilogrammes par seconde (kg/s), pour chaque moteur utilisé sur le type d'aéronef *j* ;

Poussée_{jk} = niveau de poussée pour le mode *k* pour le type d'aéronef *j* ;

TIM_{jk} = durée en phase pour le mode *k*, en minutes, pour l'aéronef *j* ;

Ne_j = nombre de moteurs employés sur l'aéronef *j*, en prenant en considération la possibilité de ne pas employer tous les moteurs pendant la circulation au sol ;

Cond_j = conditions ambiantes (vitesse de déplacement, altitude, pression, température et humidité) pour le mouvement du type d'aéronef *j*.

Calcul des émissions — approche sophistiquée

Paramètres

6.62 Dans l'approche sophistiquée, les données réelles et affinées nécessaires pour l'analyse sont obtenues à partir de mesures en temps réel, des renseignements de performance communiqués et/ou de sorties d'une modélisation informatique complexe. À un niveau élevé, ces données et renseignements caractérisent la composition réelle de la flotte aérienne en termes de combinaison de type d'aéronef et de moteurs, TIM, niveaux de poussée, débit carburant et, éventuellement, conditions de fonctionnement de la chambre de combustion pour toutes les phases des opérations au sol et au décollage. Dans certains cas, il faudra aussi une correction des conditions de fonctionnement du moteur pour les conditions de référence, en employant des méthodes acceptées⁸. De plus, l'application des paramètres définis aux § 6.35 à 6.52 pourrait être envisagée sur la base des orientations données dans le Tableau 3-A1-2.

6.63 Ci-dessous une liste des données et renseignements généralement nécessaires pour calculer les émissions des moteurs d'aviation selon l'approche sophistiquée :

- a) mesures de TIM pour différents types d'aéronef/moteurs dans des conditions différentes de charge, de route et météorologiques ;
- b) mesures de déploiement de poussée inverse pour différents types d'aéronef/moteurs dans différentes conditions météorologiques ;
- c) conditions météorologiques à l'aéroport, là où la modélisation de la performance des aéronefs/moteurs tient compte des variations des conditions météorologiques ;
- d) fréquence et type des essais moteurs ;
- e) fréquence du remorquage d'aéronefs en exploitation ;
- f) infrastructure aéroportuaire et contraintes (p. ex. longueur des pistes).

6.64 De même, des données mesurées par les exploitants peuvent être disponibles, notamment :

- a) réglages typiques ou réels de la manette utilisés pendant l'inversion de poussée ;
- b) données réelles de configuration aéronef/moteurs ;
- c) données réelles de débit carburant ;
- d) vitesses réelles de ralenti pour le type de moteur ;
- e) réglages typiques ou réels de la manette pour l'approche, le décollage et la montée (p. ex. procédures de décollage à poussée réduite) ;
- f) profils d'approche et de montée ;
- g) fréquence de la circulation au sol sans utiliser tous les moteurs.

8. Les sources pour la correction et l'obtention de ces données seront les compagnies aériennes, les motoristes, l'Annexe 16, Volume II, le document SAE AIR1845, la BADA et les données ETMS, ETFMS et FDR.

Ces données d'exploitants mesurées et réelles peuvent s'ajouter à des éléments de données modélisées ou les remplacer.

6.65 En employant des données de performance et opérationnelles réelles, on peut calculer des facteurs d'émission des moteurs au moyen de programmes tels que la méthode BFFM2 ou la méthode du DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*).

Méthodologie de calcul sophistiquée pour NO_x, CO, HC, nvPMmass ou nvPMnumber

6.66 Une fois connus les facteurs d'émissions des moteurs, TIM et débit carburant réels, les émissions CAD sont calculées en employant la même équation que celle utilisée dans l'approche avancée, mais avec des valeurs d'entrées affinées.

$$E_{ij} = \sum (TIM_{jk} * 60) * f(FF_{jk}, E_{ijk} \text{ ou } \text{Poussée}_{jk}, \text{Cond}_j, N_{ej}) \quad \text{Éq. 3-A1-7}$$

où :

- E_{ij} = émissions totales de polluant i [p. ex. NO_x, CO, HC, nvPMmass (en grammes) ou nvPMnumber (nombre de particules)] produites par un certain aéronef j pour un CAD ;
- E_{ijk} = l'indice d'émissions pour le polluant i, par exemple NO_x, CO, HC, nvPMmass [en grammes de polluant par kilogramme de carburant (g/kg de carburant)] ou nvPMnumber [nombre par kilogramme de carburant (#/kg de carburant)] en mode k pour chaque moteur utilisé sur l'aéronef j ;
- FF_{jk} = débit carburant pour le mode k, en kilogrammes par seconde (kg/s), pour chaque moteur utilisé sur le type d'aéronef j ;
- Poussée_{jk} = niveau de poussée pour le mode k pour type d'aéronef j ;
- TIM_{jk} = durée en phase pour le mode k, en minutes, pour l'aéronef j ;
- N_{ej} = nombre de moteurs employés sur l'aéronef j ;
- Cond_j = conditions ambiantes (vitesse de déplacement, altitude, p, t, h) pour mouvement d'un aéronef j.

7. ÉMISSIONS DES GROUPES AUXILIAIRES DE PUISSANCE

7.1 Un groupe auxiliaire de puissance (GAP) est un petit moteur à turbine à gaz couplé à un groupe électrogène, utilisé pour alimenter les systèmes de bord en énergie électrique et en air comprimé lorsque c'est nécessaire. Il est normalement monté dans le cône de queue de l'aéronef, derrière la cloison étanche arrière et fonctionne sur kérosène provenant des réservoirs de carburant principaux. Les aéronefs ne sont pas tous dotés d'un GAP et, même si l'usage de GAP sur les jets de transport est maintenant quasiment universel, certains aéronefs à turbopropulseurs et jets d'affaires n'en sont pas équipés.

Méthodologie de calcul des émissions

7.2 Contrairement aux moteurs principaux des aéronefs, les GAP ne sont pas certifiés pour leurs émissions, et les constructeurs considèrent généralement comme exclusifs les renseignements sur leurs émissions. Il n'y a donc que peu de données accessibles au public pour servir de base au calcul des émissions des GAP.

7.3 Les analyses effectuées jusqu'à présent sur les GAP n'ont pas abouti à la mise au point de méthodologies avancées ou évoluées permettant de prédire avec plus de précision les émissions de particules des GAP. Si les usagers disposent de plus de renseignements, ils sont encouragés à les utiliser si cela peut être utile pour l'étude. Pour le moment, c'est donc l'emploi de l'approche simple qui est recommandé pour le calcul des émissions de particules.

Approche simple

7.4 Si l'on dispose de fort peu de renseignements sur les types d'aéronefs qui desservent l'aéroport étudié, l'approche simple pourra être employée pour les émissions des GAP. Il est cependant probable que les résultats aient un ordre d'incertitude important associé à l'emploi des GAP et à leurs émissions. Des renseignements généralisés sur les émissions des GAP ont été rendus publics et il est recommandé de les utiliser car l'approche simple utilise des moyennes des valeurs exclusives (*proprietary*) propres aux différents moteurs obtenues des constructeurs de GAP.

7.5 Lorsque le niveau de détail sur la flotte aérienne ne permet pas d'employer ce processus, les valeurs du Tableau 3-A1-3 sont considérées représentatives des émissions de GAP pour chaque mouvement d'aéronef à l'aéroport sur lequel porte l'étude (d'autres valeurs pourront être employées si elles sont jugées plus appropriées).

7.6 Les valeurs indiquées au Tableau 3-A1-3 pour la consommation de carburant et les émissions sont basées sur des moyennes des données propriétaires spécifiques aux GAP provenant des constructeurs, mais ne correspondent pas à un type de GAP particulier. Les temps d'activité notés sont basés sur des durées de fonctionnement moyennes. Les durées de fonctionnement indiquées, basées sur les durées de fonctionnement lors d'un certain nombre de vols, ne représentent pas nécessairement l'exploitation à un aéroport spécifique. Il est à noter que ces durées varient considérablement à différents aéroports du fait d'un certain nombre de facteurs et peuvent être assez différentes des valeurs par défaut du Tableau 3-A1-3. Si l'on dispose de renseignements sur les durées de fonctionnement réelles des GAP, qu'ils proviennent d'enquêtes ou qu'il s'agisse de durées maximales du fait de restrictions locales appliquées à l'aéroport, on pourra ajuster la consommation de carburant et les émissions des GAP en factorisant les valeurs du tableau par le rapport entre les durées d'étude et les valeurs par défaut indiquées.

7.7 Les émissions de NO_x d'un GAP pour aéronef court courrier fonctionnant 60 minutes seraient, par exemple, calculées comme suit :

$$\text{NO}_x \text{ (g/CAD)} = (60 \text{ minutes par CAD}) \times (700 \text{ g/45 minutes}) = 933 \text{ g/CAD.}$$

7.8 De plus, la diffusion publique de renseignements de constructeurs montre qu'il existe des combinaisons d'aéronef et de GAP incluant l'IE et les taux de consommation de carburant d'un GAP par cycle de service moyen.⁹ Il existe aussi des estimations de temps de fonctionnement des GAP provenant de l'Association du transport aérien (ATA), basées sur une enquête informelle limitée concernant l'utilisation des GAP. L'emploi des données de constructeurs sur les émissions des GAP, ainsi que des estimations IATA des durées de fonctionnement des GAP, peut fournir une estimation plus exacte des émissions des GAP. Il s'agit d'estimations de l'ATA pour aéronefs à fuselage étroit ou à fuselage large¹⁰ avec ou sans alimentation électrique à la porte. À titre d'exemples, ces estimations sont présentées dans le Tableau 3-A1-4 (d'autres valeurs peuvent être employées si elles sont jugées plus appropriées).

9. Correspondance de Honeywell Engines & Systems à la Division Évaluation et Normes, Émissions des GAP de l'EPA des États-Unis, 29 septembre 2000.

10. Aéronef à fuselage étroit : un seul couloir. Fuselage large : aéronef à deux couloirs (p. ex. A300, A330, A340, A380, B747, B767, B777, B787).

Tableau 3-A1-3. Valeurs représentatives des émissions de GAP pour chaque mouvement d'aéronef

Groupe d'aéronefs	Court-courrier ¹¹	Long-courrier
Durée de fonctionnement du GAP	45 min	75 min
Consommation de carburant	80 kg	300 kg
Émissions de NO _x	700 g	2 400 g
Émissions de HC	30 g	160 g
Émissions de CO	310 g	210 g
Émissions massiques totales de particules (tPMmass)	40 g	50 g
Émissions en nombre de particules (nvPMnumber)	5,75E+17 #	3,75E+17 #

Tableau 3-A1-4. Estimations ATA des durées de fonctionnement des GAP pour aéronefs à fuselage large ou à fuselage étroit

Type d'aéronef	Durée de fonctionnement du GAP (heures/cycle)	
	Avec alimentation à la porte	Sans alimentation à la porte
Fuselage étroit	0,23 à 0,26	0,87
Fuselage large	0,23 à 0,26	1,0 à 1,5

7.9 On trouvera des combinaisons GAP — aéronef dans un rapport technique de 1995 de la FAA intitulé *Technical Data to Support FAA Advisory Circular on Reducing Emissions from Commercial Aviation* (FAA, 1995). Ce document donne un résumé précis des grandes familles de GAP sur différents aéronefs. Le document donne aussi les IE et le débit carburant selon le mode pour des GAP spécifiques, tout cela apportant des détails supplémentaires pour le calcul des émissions des GAP.

7.10 Par exemple, les émissions de NO_x du GAP pour un aéronef à large fuselage utilisant un 331-200ER sans alimentation électrique au poste de stationnement, la durée à la charge étant de 1,5 heure, l'IE pour les NO_x de 9,51 lb par 1 000 lb de carburant et le débit carburant de 267,92 lb par heure, seraient calculées comme suit :

$$\text{NO}_x \text{ (lb/CAD)} = (1,5 \text{ heure par CAD}) \times (9,51 \text{ lb/1 000 lb carburant}) * (267,92 \text{ lb carburant/heure}) = 3,82 \text{ lb/CAD} = 3 466 \text{ g/CAD}.$$

11. Bien qu'il n'y ait pas de définition commune pour court-courrier et long-courrier, il est proposé dans le contexte du présent document une règle empirique qui relie le terme au type d'avion. Le groupe des long-courriers comprendrait les avions dont la distance franchissable maximale est supérieure à 8 000 km (p. ex. A330, A340, A380, B747, B767-200ER, B763, B764, B777, B787, IL96). Tous les autres avions seraient des court-courriers.

Approche avancée

7.11 Les émissions des GAP peuvent être estimées à partir de la connaissance de la combinaison réelle aéronef/GAP et de la durée de fonctionnement du GAP, avec les IE attribués aux différents types de GAP. Les émissions peuvent être calculées à trois conditions suggérées de charge de fonctionnement du GAP, soit :

- a) démarrage (pas de charge) ;
- b) fonctionnement normal [système de conditionnement d'air (ECS) maximum] ;
- c) forte charge (démarrage moteurs principaux),

pour représenter le cycle de fonctionnement de ces moteurs.

7.12 Pour chacune de ces charges, les émissions pourront être calculées à partir des formules suivantes :

NO _x	=	taux de NO _x × durée à la charge ;
HC	=	taux de HC × durée à la charge ;
CO	=	taux de CO × durée à la charge ;
tPMmass	=	taux de tPMmass × durée à la charge ;
nvPMnumber	=	taux de nvPMnumber × durée à la charge.

7.13 Lorsque les données de durée réelle à la charge de fonctionnement ne peuvent pas être identifiées exactement, les durées figurant dans le Tableau 3-A1-5 sont données à titre d'exemples (d'autres valeurs pourront être employées si c'est jugé plus indiqué).

7.14 Pour calculer les émissions du GAP, des types d'aéronefs actuels ont été répartis en six groupes caractérisant leurs émissions (voir Tableaux 3-A1-6 à 3-A1-11). Il était dès lors possible de calculer les émissions de CO₂, NO_x, HC et CO du GAP en multipliant la durée à la charge par le facteur d'émission approprié (d'autres valeurs pourront être employées si c'est jugé plus approprié).

7.15 Les émissions totales de NO_x, HC et CO du GAP pour chaque cycle peuvent être calculées à partir de la somme des émissions pour chaque mode sur l'ensemble du cycle.

Tableau 3-A1-5. Exemples de durées réelles à la charge

Activité	Mode	Bimoteur	Quadrimoteur
Démarrage et stabilisation du GAP	Démarrage	3 minutes	3 minutes
Préparation de l'aéronef, embarquement de l'équipage et des passagers	Fonctionnement normal	Durée de fonctionnement total avant le départ — 3,6 minutes	Durée de fonctionnement total avant départ — 5,3 minutes
Démarrage du moteur principal	Charge élevée	35 secondes	140 secondes
Débarquement des passagers et arrêt de l'aéronef	Fonctionnement normal	15 minutes (défaut) ou comme mesuré	15 minutes (défaut) ou comme mesuré

Tableau 3-A1-6. Groupes selon la consommation de carburant du GAP

Groupes selon la consommation de carburant du GAP	Démarrage Aucune charge (kg/h)	Fonctionnement normal ECS maximum (kg/h)	Charge élevée Démarrage moteur principal (kg/h)
Jets d'affaires/jets régionaux (sièges < 100)	68	101	110
Petits (100 ≤ sièges < 200), types nouveaux	77	110	130
Petits (100 ≤ sièges < 200), types anciens	69	122	130
Moyens (200 ≤ sièges < 300), tous types	108	164	191
Grands (300 ≤ sièges), types anciens	106	202	214
Grands (300 ≤ sièges), types nouveaux	146	238	262

Tableau 3-A1-7. Groupe selon les émissions de NO_x du GAP

Groupe selon les émissions de NO _x du GAP	Démarrage Aucune charge (kg/h)	Fonctionnement normal ECS maximum (kg/h)	Charge élevée Démarrage moteur principal (kg/h)
Jets d'affaires/jets régionaux (sièges < 100)	0,274	0,700	0,714
Petits (100 ≤ sièges < 200), types nouveaux	0,384	0,702	1,128
Petits (100 ≤ sièges < 200), types anciens	0,329	0,733	0,826
Moyens (200 ≤ sièges < 300), tous types	0,876	1,556	1,889
Grands (300 ≤ sièges), types anciens	0,757	1,847	2,103
Grands (300 ≤ sièges), types nouveaux	1,062	2,955	3,347

Tableau 3-A1-8. Groupe selon les émissions de HC du GAP

Groupe selon les émissions de HC du GAP	Démarrage Aucune charge (kg/h)	Fonctionnement normal ECS maximum (kg/h)	Charge élevée Démarrage moteur principal (kg/h)
Jets d'affaires/jets régionaux (sièges < 100)	1,026	0,027	0,049
Petits (100 ≤ sièges < 200), types nouveaux	0,763	0,043	0,035
Petits (100 ≤ sièges < 200), types anciens	0,125	0,040	0,035
Moyens (200 ≤ sièges < 300), tous types	0,108	0,018	0,020
Grands (300 ≤ sièges), types anciens	0,113	0,048	0,042
Grands (300 ≤ sièges), types nouveaux	0,093	0,031	0,030

Tableau 3-A1-9. Groupe selon les émissions de CO du GAP

Groupe selon les émissions de CO du GAP	Démarrage Aucune charge (kg/h)	Fonctionnement normal ECS maximum (kg/h)	Charge élevée Démarrage moteur principal (kg/h)
Jets d'affaires/jets régionaux (sièges < 100)	3,345	0,615	0,655
Petits (100 ≤ sièges < 200), types nouveaux	2,948	0,386	0,543
Petits (100 ≤ sièges < 200), types anciens	1,477	0,927	0,736
Moyens (200 ≤ sièges < 300), tous types	1,446	0,230	0,170
Grands (300 ≤ sièges), types anciens	1,476	0,331	0,257
Grands (300 ≤ sièges), types nouveaux	1,349	0,152	0,173

Table 3-A1-10. Groupe selon les émissions tPMmass du GAP

Groupe selon les émissions tPMmass du GAP	Démarrage Aucune charge (kg/h)	Fonctionnement normal ECS maximum (kg/h)	Charge élevée Démarrage moteur principal (kg/h)
Jets d'affaires/jets régionaux (sièges < 100)	0,063	0,035	0,036
Petits (100 ≤ sièges < 200), types nouveaux	0,057	0,022	0,021
Petits (100 ≤ sièges < 200), types anciens	0,048	0,056	0,047
Moyens (200 ≤ sièges < 300), tous types	0,031	0,038	0,041
Grands (300 ≤ sièges), types anciens	0,070	0,117	0,127
Grands (300 ≤ sièges), types nouveaux	0,022	0,025	0,023

Table 3-A1-11. Groupe selon les émissions nvPMnumber du GAP

Groupe selon les émissions nvPMnumber du GAP	Démarrage Aucune charge (#/h)	Fonctionnement normal ECS maximum (#/h)	Charge élevée Démarrage moteur principal (#/h)
Jets d'affaires/jets régionaux (sièges < 100)	8,45E+15	2,00E+17	2,66E+17
Petits (100 ≤ sièges < 200), types nouveaux	3,65E+16	9,48E+16	1,14E+17
Petits (100 ≤ sièges < 200), types anciens	1,20E+18	1,06E+18	9,53E+17
Moyens (200 ≤ sièges < 300), tous types	2,86E+17	3,49E+17	3,35E+17
Grands (300 ≤ sièges), types anciens	2,11E+17	7,34E+17	1,18E+18
Grands (300 ≤ sièges), types nouveaux	5,80E+16	2,04E+17	8,22E+16

Approche sophistiquée

7.16 L'approche sophistiquée exige une connaissance détaillée du type de GAP, des modes de fonctionnement et de la durée dans ces modes, des opérations et de la consommation de carburant de l'aéronef et des facteurs d'émission associés. Comme on l'a vu, beaucoup de ces renseignements ne sont pas accessibles au public et il faudrait contacter les constructeurs des GAP. Les données TIM sont un autre facteur à étudier et recueillir avec soin. Il est possible que seules des valeurs types soient disponibles pour certains exploitants/types d'aéronefs, et il pourra être nécessaire dans ce cas d'employer les valeurs par défaut de l'approche avancée, mais en les couplant avec des IE plus précis provenant des constructeurs pour donner un résultat plus fiable.

7.17 Les émissions des GAP pour chaque mode de fonctionnement du GAP pourront ensuite être calculées à partir de la formule suivante :

$$\text{masse d'émissions} = \text{TIM} \times \text{débit carburant} \times \text{IE}, \quad \text{pour chaque mode et} \quad \text{Éq. 3-A1-8}$$

chaque espèce d'émissions.

7.18 On peut ensuite calculer la masse de chaque espèce d'émissions pour chaque opération en additionnant les masses d'émissions pour les différentes charges. Finalement, en additionnant les émissions calculées pour chaque utilisation du GAP de l'aéronef, on pourra calculer la masse totale de chaque espèce d'émissions pour l'inventaire d'émissions.

7.19 Les indices d'émissions pour les GAP ont été mis à disposition de certains aéroports et exploitants d'aéronef par les constructeurs ; s'agissant de données propriétaires, leur utilisation généralisée n'a pas été autorisée. Il en résulte que l'approche sophistiquée ne peut être accessible qu'à quelques spécialistes de l'exécution d'inventaires.

Pièce jointe A à l'Appendice 1



BANQUE DE DONNÉES OACI DES ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

MOTEURS SUBSONIQUES

IDENTIFICATION DU MOTEUR :	Trent 895	TAUX DE DILUTION :	5,7
NUMÉRO ID UNIQUE :	5RR040	RAPPORT DE PRESSION (π_{00}) :	41,52
TYPE DE MOTEUR :	TF	RÉGIME NOMINAL DE DÉCOLLAGE (F_{00}) (kN) :	413,05

DONNÉES RÉGLEMENTAIRES

VALEUR CARACTÉRISTIQUE :	HC	CO	NOx	INDICE DE FUMÉE
D_p/F_{00} (g/kN) ou SN	1,7	23,1	78,6	6,9
EN % DE LA LIMITE D'ORIGINE	8,6 %	19,6 %	63,9 %	42,8 %
EN % DE LA LIMITE CAEP/2 (NOx)			79,9 %	
EN % DE LA LIMITE CAEP/4 (NOx)			87,3 %	

ÉTAT DES DONNÉES

PRÉRÉGLÉMENTATION
 CERTIFICATION
 REVU (VOIR OBSERVATIONS)

ÉTAT DU MOTEUR D'ESSAI

MOTEURS DE FABRICATION NOUVELLE
 MOTEURS DÉDIÉS À NORME DE PRODUCTION
 AUTRE (VOIR OBSERVATIONS)

ÉTAT DES ÉMISSIONS

DONNÉES CORRIGÉES À RÉFÉRENCE
 (ANNEXE 16, VOLUME II)

ÉTAT ACTUEL DU MOTEUR

EN PRODUCTION, EN SERVICE (SAUF INDICATION CONTRAIRE)
 HORS PRODUCTION
 HORS SERVICE

DONNÉES MESURÉES

MODE	RÉGLAGE PUISSANCE (% F_{00})	TEMPS minutes	DÉBIT CARBURANT kg/s	INDICES D'ÉMISSIONS (g/kg)			
				HC	CO	NOx	INDICE DE FUMÉE
DÉCOLLAGE	100	0,7	4,03	0,02	0,27	47,79	–
MONTÉE	85	2,2	3,19	0	0,19	34,29	–
APPROCHE	30	4,0	1,05	0	0,54	11,39	–
RALENTI	7	26,0	0,33	0,89	14,71	5,11	–
TOTAL CARBURANT (kg) ou ÉMISSIONS (g) par CAD			1 357	462	7 834	28 029	–
NOMBRE DE MOTEURS				1	1	1	1
NOMBRE D'ESSAIS				3	3	3	3
D_p/F_{00} MOYEN (g/kN) ou SN MOYEN (MAX)				1,1	18,8	67,81	5,34
SIGMA (D_p/F_{00} en g/kN ou SN)				–	–	–	–
PLAGE D_p/F_{00} en g/kN ou SN)				0,95 – 1,24	17,71 – 19,67	65,76 – 69,5	4,7 – 6,0

CHARGES ACCESSOIRES

EXTRACTION DE PUISSANCE	0	(kW)	À	–	RÉGLAGES RÉGIME MOTEUR
PRÉLÈVEMENT	0	% FLUX CENTRAL	À	–	RÉGLAGES RÉGIME MOTEUR

CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES

BAROMÈTRE (kPa)	100,2
TEMPÉRATURE (K)	287
HUMIDITÉ ABS. (kg/kg)	,0053 – ,0089

CARBURANT

SPEC	AVTUR
H/C	1,95
AROM (%)	16

CONSTRUCTEUR : Rolls-Royce plc
 ORGANISME D'ESSAIS : Rolls-Royce plc
 LIEU DES ESSAIS : SINFIN, Derby
 DATES D'ESSAIS : DE SEPT 94 À –

OBSERVATIONS

1. Données du rapport de certification DNS59304
 Ce document a été établi le 1^{er} octobre 2004. Voir la version la plus récente sur le site de l'OACI.

Pièce jointe B à l'Appendice 1

INDICES D'ÉMISSION SIMPLIFIÉS DES AÉRONEFS

Tableau B-1. Facteurs d'émissions d'un CAD par aéronef

Aéronef ¹		Facteurs d'émission d'un CAD/avion (kg/CAD/aéronef et #CAD/aéronef) ²							Consommation de carburant (kg/CAD/aéronef)
		CO ₂ ³	HC	NO _x	CO	SO ₂ ⁴	tPM _{mass}	nvPM _{number}	
Grands aéronefs commerciaux ⁵	A300	5 445	1,25	25,86	14,80	0,86	0,16	1,58E+18	1 723
	A310	4 761	6,30	19,46	28,30	0,75	0,17	9,99E+17	1 507
	A318	2 274	0,91	6,76	12,14	0,36	0,07	5,48E+17	719
	A319	2 390	1,20	8,70	7,86	0,38	0,14	2,54E+18	756
	A320	2 665	0,34	9,90	8,14	0,42	0,17	3,28E+18	843
	A320neo	1 981	0,10	5,95	6,95	0,31	0,04	2,35E+17	627
	A321	3 195	0,17	16,23	5,81	0,51	0,23	4,62E+18	1 011
	A321neo	2 373	0,09	10,76	6,94	0,38	0,06	2,86E+17	751
	A330-200/300	7 052	1,28	35,57	16,20	1,12	0,21	2,42E+18	2 232
	A340-200	6 111	4,05	31,08	25,75	0,97	0,18	8,18E+17	1 934
	A340-300	6 383	3,90	34,81	25,23	1,01	0,19	8,77E+17	2 020
	A340-500/600	10 659	0,14	64,45	15,31	1,69	0,19	7,95E+17	3 373
	A350-900	6 756	0,94	39,81	20,27	1,07	0,20	2,63E+18	2 138
	A350-1000	7 851	0,90	56,91	20,23	1,24	0,24	2,77E+18	2 484
	A380	11 952	3,70	69,42	39,06	1,89	0,34	3,37E + 18	3 782
	707	5 890	97,45	10,96	92,37	0,93	2,15	1,88E+19	1 864
	717	2 143	0,05	6,68	6,78	0,34	0,09	7,80E+17	678
	727-200	4 610	8,14	11,97	27,16	0,73	0,52	1,11E+19	1 459
	737-300/400/500	2 737	1,43	6,98	6,48	0,43	0,14	2,55E+18	866
	737-600	2 279	1,01	7,66	8,65	0,36	0,09	1,23E+18	721
	737-700	2 462	0,86	9,12	8,00	0,39	0,09	1,40E+18	779
	737-800/900	2 784	0,72	12,30	7,07	0,44	0,12	2,04E+18	881
	747-200	11 370	18,24	49,52	79,78	1,80	0,46	3,33E+18	3 598
	747-300	11 074	2,73	65,00	17,84	1,75	0,37	4,01E+18	3 504
	747-400	10 245	2,25	42,88	26,72	1,62	0,24	6,28E+17	3 242
	747-8	11 044	0,84	44,32	27,61	1,75	0,24	2,76E+18	3 495
	757-200	4 317	0,22	23,43	8,08	0,68	0,11	1,20E+18	1 366
757-300	4 625	0,11	17,85	11,62	0,73	0,33	5,88E+18	1 464	

Aéronef ¹		Facteurs d'émission d'un CAD/avion (kg/CAD/aéronef et #CAD/aéronef) ²						Consommation de carburant (kg/CAD/aéronef)	
		CO ₂ ³	HC	NO _x	CO	SO ₂ ⁴	tPM _{mass}		
	767-200	4 622	3,32	23,76	14,80	0,73	0,18	1,04E+18	1 463
	767-300	5 608	1,19	28,19	14,47	0,89	0,17	1,68E+18	1 775
	767-400	5 522	0,98	24,80	12,37	0,87	0,13	3,74E+17	1 748
	777-200/300	7 197	1,35	37,47	16,60	1,14	0,18	1,14E+18	2 277
	787-8	5 468	0,24	28,75	10,34	0,87	0,12	1,15E+18	1 730
	CS 100 / A220-100	1 890	0,06	8,25	3,44	0,30	0,05	5,34E+17	598
	CS 300 / A220-300	1 890	0,06	8,25	3,44	0,30	0,05	5,34E+17	598
	EMB170	1 589	0,04	4,84	4,05	0,25	0,03	1,01E+17	503
	EMB190	2 059	1,14	6,43	12,13	0,33	0,06	1,87E+17	652
	DC-10	7 287	2,37	35,65	20,59	1,15	0,24	1,26E+18	2 306
	DC-8-50/60/70	5 357	1,51	15,62	26,31	0,85	0,14	1,46E+18	1 695
	DC-9	2 646	4,63	6,16	16,29	0,42	0,29	6,18E+18	837
Grands aéronefs commerciaux ⁵ Source : OACI (2018) ⁶ ICCAIA (2014) ICCAIA (2018)	MD-11	7 287	2,37	35,65	20,59	1,15	0,24	1,26E+18	2 306
	MD-80	3 184	1,87	11,97	6,46	0,50	0,27	5,76E+18	1 008
	MD-90	2 759	0,06	10,76	5,53	0,44	0,26	5,93E+18	873
	TU-134	2 931	17,98	8,68	27,98	0,46	0,66	1,24E+19	928
	TU-154-M	5 959	13,17	12,00	82,88	0,94	1,11	2,96E+19	1 886
	TU-154-B	7 030	119,03	14,33	143,05	1,11	1,58	1,96E+19	2 225
Jets régionaux/jets d'affaires > 26,7 kN poussée	RJ-RJ85	1 906	1,35	4,34	11,21	0,30	0,09	2,09E+18	603
	BAE 146	1 801	1,41	4,07	11,18	0,29	0,07	8,26E+17	570
	CRJ-100ER	1 056	0,63	2,27	6,70	0,17	0,04	5,16E+17	334
	CRJ-900	1 517	0,04	4,40	4,12	0,24	0,03	7,34E+16	480
	ERJ-145	993	0,56	2,69	6,18	0,16	0,02	1,81E+17	314
	Fokker 100/70/28	2 387	1,43	5,75	13,84	0,38	0,34	9,19E+18	755
	Domier 328 Jet	868	0,57	2,99	5,35	0,14	0,04	5,56E+17	275
	Gulfstream IV	2 030	0,55	4,99	8,25	0,32	0,07	5,22E+17	642
	Gulfstream V	1 857	0,60	5,70	8,90	0,29	0,13	1,00E+18	588
	Gulfstream VI	1 925	0,80	5,13	11,82	0,30	0,09	6,21E+17	609
	Gulfstream VII-500	1 619	0,01	6,34	3,20	0,26	0,03	6,04E+16	512
	RRJ95-LR	2 147	0,27	5,90	9,21	0,34	0,15	1,04E+18	679
Yak-42M	1 919	1,68	7,11	6,81	0,30	0,09	1,62E+18	607	
Jets à faible poussée (Fn < 26,7 kN)	Cessna 525/560	458	1,66	0,28	16,20	0,07	0,05	1,20E+18	145
Turbopropulseurs Source : FOI ⁷	Beech King Air ⁸	241	0,64	0,32	2,99	0,04	0,02	6,51E+17	76
	DHC8-100 ⁹	658	0,00	1,55	2,27	0,10	0,07	2,23E+18	208
	ATR72-500 ¹⁰	641	0,29	1,88	2,35	0,10	0,07	2,36E+18	203

Notes.—

1. Des aéronefs équivalents figurent dans le Tableau B-2.
2. Les documents de référence suivants contiennent des renseignements sur les incertitudes associées aux données :
 - 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.
 - Annexe 16 de l'OACI, Volume II, 4^e édition (2017).
 - Pièce jointe D à l'Appendice 1 du présent document.
3. CO₂ pour chaque aéronef basé sur une production de 3,16 kg de CO₂ pour chaque kg de carburant utilisé.
4. La teneur en soufre du carburant est supposée être 0,05 % (même hypothèse que dans la révision 1996 du NGGIP du GIEC).
5. Les types de moteurs pour chaque aéronef ont été choisis sur la base des moteurs les plus représentatifs de la flotte en termes de nombre de CAD et/ou de niveaux moyens d'émissions des moteurs, en date du 30 septembre 2018. Cette approche, pour certains types de moteurs, peut sous-estimer (ou surestimer) les émissions de la flotte.
6. Banque de données OACI des émissions d'échappement des moteurs (2004) basée sur les données de certification moyennes mesurées. Les facteurs d'émission s'appliquent seulement à la certification CAD. Les émissions et la consommation de carburant totales sont calculées sur la base de la TIM et des niveaux de poussée standard selon les normes de l'OACI.
7. Données non certifiées de la base de données sur les émissions CAD de turbopropulseurs de la FOI (l'Agence suédoise de recherche pour la défense).
8. Représentatif d'aéronefs à turbopropulseurs à puissance sur l'arbre (SHP) pouvant atteindre 1 000 SHP/moteur.
9. Représentatif d'aéronefs à turbopropulseurs à puissance sur l'arbre comprise entre 1 000 et 2 000 SHP/moteur.
10. Représentatif d'aéronefs à turbopropulseurs à puissance sur l'arbre supérieure à 2 000 SHP/moteur.

Tableau B-2. Aéronefs et moteurs représentatifs

Type d'aéronef générique	Moteur OACI	UID du moteur	OACI	Aéronefs IATA en groupe
Airbus A300	PW4158	1PW048	A30B	AB3
			A306	AB4
				AB6
				ABF
				ABX
				ABY
Airbus A310	CF6-80C2A2	1GE016	A310	310
				312
				313
				31F
				31X
				31Y
A318	CFM56-5B9/3	8CM060	A318	318
Airbus A319	CFM56-5B5/P (60 %) V2524-A5 (40 %)	3CM027 3IA007	A319	319
Airbus A320	CFM56-5B4/3 (50 %) V2527-A5 (50 %)	8CM055, 1IA003	A320	320
				32S
Airbus A320Neo	PW1127G-JM CFM LEAP-1A26	18PW122 17CM082	A20N	320
Airbus A321	CFM56-5B3/3 (30 %) V2533-A5 (70 %)	8CM054, 3IA008	A321	321
Airbus A321Neo	PW1133G-JM CFM LEAP-1A35	18PW126 17CM083	A21N	321
Airbus A330-200	Trent 772B-60	3RR030	A330	330
			A332	332
Airbus A330-300	Trent 772B-60	3RR030	A330	330
			A333	333
Airbus A340-200	CFM56-5C3	1CM011	A342	342
Airbus A340-300	CFM56-5C4	2CM015	A340	340
			A343	343
Airbus A340-500	Trent 556-61	6RR041	A345	345
Airbus A340-600	Trent 556-61	6RR041	A346	346
Airbus A350-900	Trent XWB-84	14RR079	A350	350
Airbus A350-1000	Trent XWB-97	18RR080	A350	350

Type d'aéronef générique	Moteur OACI	UID du moteur	OACI	Aéronefs IATA en groupe
Airbus A380-8	GP7270 (60 %) Trent 970 (40 %)	9EA001, 18RR081	A388	380
Boeing 707	JT3D-3B	1PW001	B703	703
				707
				70F
				70M
Boeing 717	BR700-715A1-30	4BR005	B712	717
Boeing 727-100	JT8D-7B	1PW004	B721	721
				72M
Boeing 727-200	JT8D-15	1PW009	B722	722
				727
				72C
				72B
				72F
				72S
Boeing 737-100	JT8D-9A	1PW007	B731	731
Boeing 737-200	JT8D-9A	1PW007	B732	732
				73M
				73X
Boeing 737-300	JT8D-9A	1PW007	B733	737
				73F
				733
				73Y
Boeing 737-400	JT8D-9A	1PW007	B734	737
				734
Boeing 737-500	JT8D-9A	1PW007	B735	737
				735
Boeing 737-600	CFM56-7B20	3CM030	B736	736
Boeing 737-700	CFM56-7B22	3CM031	B737	73G
				73W
Boeing 737-800	CFM56-7B26	3CM033	B738	738
				73H
Boeing 737-900	CFM56-7B26	3CM033	B739	739

Type d'aéronef générique	Moteur OACI	UID du moteur	OACI	Aéronefs IATA en groupe
Boeing 747-100	JT9D-7A	1PW021	B741	74T
			N74S	74L
			B74R	74R
			B74R	74V
Boeing 747-200	JT9D-7Q	1PW025	B742	742
				74C
				74X
Boeing 747-300	JT9D-7R4G2 (66 %) RB211-524D4 (34 %)	1PW029 (66 %) 1RR008 (34 %)	B743	743
				74D
Boeing 747-400	CF6-80C2B1F	2GE041	B744	747
				744
				74E
				74F
				74J
				74M
				74Y
Boeing 747-8	GE _{nx} 2B67	11GE139	B748	748
Boeing 757-200	RB211-535E4	3RR028	B752	757
				75F
				75M
Boeing 757-300	RB211-535E4B	5RR039	B753	753
Boeing 767-200	CF6-80A2	1GE012	B762	762
				76X
Boeing 767-300	PW4060	1PW043	B763	767
				76F
				763
				76Y
Boeing 767-400	CF6-80C2B8F	3GE058	B764	764
Boeing 777-200	Trent 877	2RR025	B772	777
				772
Boeing 777-300	GE90-115B	7GE099	B773	777
				773
Boeing 787-8	GE _{nx} 1B70 Trent 1000 PkgB	11GE138 12RR057	B787	787

Type d'aéronef générique	Moteur OACI	UID du moteur	OACI	Aéronefs IATA en groupe
Airbus A220-100 / Bombardier CS 100	PW 1524G	16PW111	BCS1	CS1
Airbus A220-300 / Bombardier CS 300	PW 1525G	16PW110	BCS3	CS3
Douglas DC-10			DC10	D10
				D11
				D1C
				D1F
Douglas DC-10	CF6-50C2	3GE074	DC10	D1M
				D1X
				D1Y
Douglas DC-8	CFM56-2C1	1CM003	DC85	D8F
			DC86	D8L
			DC87	D8M
				D8Q
				D8T
				D8X
				D8Y
Douglas DC-9	JT8D-7B	1PW004	DC9	DC9
			DC91	D91
			DC92	D92
			DC93	D93
			DC94	D94
			DC95	D95
				D9C
				D9F
D9X				
Lockheed L-1011	RB211-22B	1RR003	L101	L10
				L11
				L15
				L1F
McDonnell Douglas MD11	CF6-80C2D1F	3GE074	MD11	M11
				M1F
				M1M

Type d'aéronef générique	Moteur OACI	UID du moteur	OACI	Aéronefs IATA en groupe
McDonnell Douglas MD80	JT8D-217C	1PW018	MD80	M80
			MD81	M81
			MD82	M82
			MD83	M83
			MD87	M87
			MD88	MD88
McDonnell Douglas MD90	V2525-D5	11A002	MD90	M90
Tupolev Tu134	D-30-3	1AA001	T134	TU3
Tupolev Tu154	D-30-KU-154-II NK-8-2U	1AA004 1KK001	T154	TU5
Avro RJ85	LF507-1F, -1H	1TL004	RJ85	AR8
				ARJ
BAe 146	ALF 502R-5	1TL003	B461	141
			B462	142
			B463	143
				146
				14F
				14X
				14Y
				14Z
CRJ-100ER	CF34-3A1	1GE035		CR1
CRJ-900	CF34-8C5	8GE110		CR9
Embraer ERJ145	AE3007A1	6AL007	E145	ER4
				ERJ
Embraer EMB170	CF34-8E5A1	8GE105	E170	E70
Embraer EMB190	CF34-10E5A1	11GE144	E190	E90

Type d'aéronef générique	Moteur OACI	UID du moteur	OACI	Aéronefs IATA en groupe
Fokker 100/70/28	TAY Mk650-15	1RR021	F100	100
			F70	F70
			F28	F21
				F22
				F23
				F24
BAC 111	Spey-512-14DW	1RR016	BA11	B11
				B12
				B13
				B14
				B15
Dornier Do 328	PW306B	7PW078	D328	D38
Gulfstream IV	Tay 611-8C	11RR048		GRJ
Gulfstream V	BR700-710A1-10	6BR010		GRJ
Gulfstream VI	BR-700-725A1-12	11BR011		
Gulfstream VII-500	PW814GA	19PW127		
RRJ95-LR	SaM146-1S18	11PJ002		
Yakovlev Yak 42	D-36	1ZM001	YK42	YK2
Cessna 525/560	PW545A ou similaire	FAEED222		
Beech King Air	PT6A-42	PT6A-42		
DHC8-100	PW120 ou similaire	PW120		DH1
ATR72-500	PW127F ou similaire	PW127F		AT5

Note.— Le Tableau B-2 contient les moteurs représentatifs pour le modèle d'aéronef donné : ce ne sont pas nécessairement les moteurs les plus utilisés. Par conséquent, il peut y avoir des différences par rapport au Tableau B-1 lorsqu'on calcule les masses d'émissions CAD.

Pièce jointe C à l'Appendice 1

BASES DE DONNÉES PUBLIQUES POUR MISE EN CORRESPONDANCE DU TYPE D'AÉRONEF ET DU TYPE DE MOTEURS

1. CHAMPS DE DONNÉES UTILES DANS LA BASE DE DONNÉES OACI

LveTime	=	Heure prévue de départ du vol de son lieu d'origine, en heure locale
LveGMT	=	Heure prévue de départ du vol de son lieu d'origine en Temps universel coordonné (UTC) (<i>Greenwich Mean Time, GMT</i>)
ArrCode	=	Nombre représentant l'aéroport d'arrivée
Arrive	=	Code alphabétique de l'aéroport d'arrivée (p. ex. JFK)
ArrTime	=	Heure d'arrivée prévue du vol, en heure locale
ArrGMT	=	Heure d'arrivée prévue, en TUC
Equip	=	Type d'aéronef, en code (p. ex. B738)
FAACarr	=	Abréviation pour le nom du transporteur aérien
ItNo	=	Numéro de vol
Freq	=	Code 1/0 montrant les jours de la semaine où ce vol a lieu dans ce créneau et entre cette paire de villes
ATACarr	=	Nom du transporteur en code de l'Association du transport aérien (ATA)
IOAGCARR	=	Entreprise de transport aérien en code IOAG à deux lettres
CarrType	=	Entreprise de transport aérien de 3 ^e niveau ou compagnie aérienne
ATAEquip	=	Type d'aéronef en code ATA
EqType	=	J pour jet, T pour turboprop, P pour aéronef à hélices
CarrName	=	Nom du transporteur aérien en toutes lettres
LveCity	=	Ville et pays/État d'origine, en toutes lettres
ArrCntry	=	Pays de destination ou État si la destination est aux États-Unis
LveCntry	=	Pays d'origine ou État si l'origine est aux États-Unis
YYMM	=	Année et mois de l'horaire en vigueur
Eday	=	Code 0/1 indiquant si ce vol est exécuté chaque jour du mois indiqué par l'horaire
FPM	=	Nombre de fois (jours) où ce vol est exécuté entre cette paire de villes à ce créneau horaire en un mois

2. CHAMPS DE DONNÉES UTILES DE LA BASE DE DONNÉES BACK D'ENREGISTREMENT DE LA FLOTTE MONDIALE

Type d'aéronef	Type d'équipement (code LAR)	Capacité en carburant
Numéro de série de l'aéronef	Type d'équipement (code IOAG)	Masse maximale au décollage (kg)
Constructeur de l'aéronef	Modèle d'équipement de l'aéronef	Charge payante maximale (kg)
Numéro d'enregistrement/suffixe numérique	Catégorie d'exploitant	Masse maximale à l'atterrissage (kg)
Constructeur du moteur	Nom de l'exploitant	Distance franchissable avec maximum de carburant (km)
Modèle du moteur	Code IATA de l'exploitant	Distance franchissable avec charge payante maximale (km)
Nombre de moteurs	Code OACI de l'exploitant	
Classe de bruit de l'aéronef (étape)	Envergure (m)	
Catégorie d'équipement	Surface alaire (mètres carrés)	
	Longueur hors tout (m)	
	Volume du ventre (mètres cubes)	

3. CHAMPS DE DONNÉES UTILES DE LA BASE DE DONNÉES ASQP

Code transporteur IATA	Heure de départ IOAG	Heure « <i>wheels-off</i> »
Numéro de vol	Heure de départ réelle	Heure « <i>wheels-on</i> »
Aéroport de départ	Heure d'arrivée IOAG	Suffixe numérique
Aéroport d'arrivée	Heure d'arrivée CRS	Heure roulage départ
Date d'opération	Heure d'arrivée réelle	Heure roulage arrivée
Jour de la semaine		

4. CHAMPS DE DONNÉES UTILES DANS LA BASE DE DONNÉES DES FLOTTES DE JP AIRLINE

Nom de l'exploitant	Mois et année de construction	Type exact de moteurs
Code IATA de l'exploitant	Numéro de construction	Masse au décollage maximale (kg)
Code OACI de l'exploitant	Identité antérieure	Configuration des sièges (ou usage autre que pour services passagers)
Suffixe numérique de l'aéronef	Nombre de moteurs	
Type et sous-type d'aéronef	Constructeur des moteurs	

Pièce jointe D à l'Appendice 1

MÉTHODE V4.0 D'APPROXIMATION DE PREMIER DEGRÉ POUR L'ESTIMATION DE LA MASSE ET DU NOMBRE DES ÉMISSIONS DE PARTICULES DES MOTEURS D'AÉRONEF

1. NOMENCLATURE

BPR	Taux de dilution
CAD	Cycle d'atterrissage et de décollage OACI (<i>LTO</i>)
C _k	Concentration massique estimée de particules non volatiles pour un moteur fonctionnant en mode k, qui est une estimation de la masse de particules non volatiles à l'emplacement d'un instrument dans le système de mesure normalisé de l'OACI par volume standard de débit ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
C _r	Facteur d'échelle unitaire pour la concentration nvPM _{mass}
D _r	Facteur d'échelle unitaire pour l'estimation du diamètre géométrique moyen (GMD)
F _k	Poussée statique du moteur pour le mode k au niveau de la mer
F _r	Facteur d'échelle unitaire pour un volume d'échappement spécifique
F _{oo}	Poussée nominale du moteur figurant dans l'EEDB
FOA	Approximation de premier degré. FOA4.0 est la dernière version de la méthodologie utilisée pour obtenir les indices d'émission pour les émissions de particules provenant d'aéronefs figurant dans l'EEDB de l'OACI.
GMD _k	Diamètre géométrique moyen des particules non volatiles en mode k
HC	Hydrocarbures totaux
IE	Indice d'émission. Un taux d'émission de carburant basé sur un kilogramme de carburant consommé. Les unités d'un IE sont notamment exprimées en g/kg de carburant. Pour plus de commodité, cependant, c'est l'unité mg/kg de carburant qui est utilisée dans ce document sauf indication contraire explicite.
IE _{HC}	Indice d'émission pour les hydrocarbures totaux, comme indiqué dans la base de données EEDB de l'OACI (g/kg de carburant)
IE _{HCCFM56}	Indice d'émission pour les hydrocarbures totaux pour le moteur CFM56-2-C5 comme indiqué dans l'EEDB de l'OACI (g/kg de carburant)
IE _{HCMoteur}	Indice d'émission pour les hydrocarbures totaux, tiré de l'EEDB de l'OACI pour le moteur considéré (g/kg de carburant)

IE _{nvPMmass}	Indice d'émission pour la masse des particules non volatiles (g/kg de carburant ou mg/kg de carburant) au niveau de l'instrument
IE _{nvPMmass,e}	Indice d'émission pour la masse des particules non volatiles (g/kg de carburant ou mg/kg de carburant) à la sortie du moteur
IE _{nvPMnumber,e}	Indice d'émission pour le nombre des particules non volatiles (#/kg de carburant) à la sortie du moteur
IE _{tPMmass}	Indice d'émission pour la masse totale des particules. La somme des masses de particules volatiles et non volatiles (mg/kg de carburant)
IE _{vPMmass-organiques}	Indice d'émission pour la masse de particules organiques volatiles dues principalement à une combustion incomplète du carburant (mg/kg de carburant)
IE _{vPMmass-orgCFM56}	Indice d'émission pour la masse de particules organiques volatiles pour le moteur CFM56-2-C1 figurant dans les mesures APEX1 (mg/kg de carburant)
IE _{vPMmass-TSC}	Indice d'émission pour la masse de particules de sulfate volatiles dues au soufre du carburant (mg/kg de carburant)
K _{slm,k}	Facteur de correction des pertes de particules spécifique au mode pour nvPMmass
MTF	Turboréacteur double flux mixte
MW _{produit}	Poids moléculaire de SO ₄ ⁻² (S ^{VI} = 96)
MW _{soufre}	Poids moléculaire du soufre élémentaire (S ^{IV} = 32)
N _r	Facteur d'échelle unitaire pour nvPMnumber
nvPM	Particules non volatiles. Particules émises présentes dans le plan de sortie de la tuyère d'échappement d'un moteur turbine à gaz, qui ne se volatilisent pas lorsqu'elles sont chauffées à une température de 350 °C. Les nvPM sont principalement constituées de carbone noir.
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
OPR	Rapport de pression global
PM	Particules
Q _k	Volume d'échappement spécifique pour un moteur fonctionnant en mode k, volume d'échappement en rapport avec le carburant consommé (m ³ /kg carburant)
RAC	Rapport air-carburant (base masse) (AFR)
SF	Facteur de mise à l'échelle
SN	Indice de fumée. La méthodologie du présent document est basée sur les indices de fumée définis dans l'Appendice 2 à l'Annexe 16 de l'OACI.
SN _k	Indice de fumée pour un moteur fonctionnant en mode k. Pour le CAD standard de l'OACI, les modes définis sont le décollage, la montée, l'approche et le ralenti.

SN _{max}	Indice de fumée maximum
STP	La température et la pression standard utilisées dans ce document sont 273,15 degrés Kelvin et pression absolue de 1 atmosphère
TF	Turboréacteur double flux non mixte
tPM _{mass}	Masse totale des particules. La somme de nvPM _{mass} et de vPM _{mass} .
TSC	Teneur en soufre du carburant (fraction de la masse)
vPM _{mass}	Masse des particules volatiles. La vPM _{mass} est composée des particules qui se volatilisent lorsqu'elles sont chauffées à une température de 350 °C.
δ _k	Ratio de IE _{PMvol-organiques} = $\frac{IE_{PMvol-orgCFM56}}{IE_{HCCFM56}}$ calculé pour utilisation dans l'Éq. D-12 (mg/kg).
ε	Efficienc e de conversion du soufre du carburant (fraction de la masse)
ρ	Densité effective supposée de nvPM
σ	Écart géométrique standard supposé des distributions des tailles de particules non volatiles

2. INTRODUCTION

2.1 La méthode FOA4.0 est une méthode d'estimation des émissions de particules à l'échappement du moteur. Pour la masse des particules non volatiles et volatiles, les résultats pour chaque mode de fonctionnement du moteur sont donnés sous forme d'indices d'émission (IE), comme masse émise par kilogramme de carburant. Pour le nombre des particules non volatiles, les IE pour chaque mode de fonctionnement du moteur sont donnés sous forme de nombre de particules émises par kilogramme de carburant. Actuellement, il n'y a pas d'estimation disponible du nombre de particules volatiles.

Particules non volatiles (nvPM) (IE_{nvPMmass} et IE_{nvPMnumber})

2.2 L'estimation des émissions massiques de particules non volatiles (nvPM_{mass}) est basée sur l'indice de fumée (SN) du moteur, le rapport air/carburant (RAC) et, s'il y a lieu, le taux de dilution (BPR). La technique consiste essentiellement à convertir le SN, au moyen d'une corrélation expérimentale, en une concentration massique non volatile (C), qui est la masse de particules non volatiles par volume unitaire d'échappement. En employant le RAC et le BPR du moteur, on calcule le volume de l'échappement (Q) par kilogramme de carburant, après quoi le produit de C et Q donne l'IE avec l'unité de masse par kilogramme de carburant consommé.

2.3 La corrélation de la méthode FOA4.0 pour convertir le SN en une concentration massique non volatile a été élaborée à partir de mesures de type certification et correspond à une estimation de la concentration massique au niveau des instruments et non à la sortie de tuyère du moteur. Étant donné que les mesures de particules sont modifiées par les mécanismes de perte physique pendant le processus d'échantillonnage, les valeurs estimées au niveau des instruments sont inférieures à celles à la sortie de tuyère du moteur. Pour ce qui est des inventaires des émissions, il est nécessaire d'avoir une méthode de correction des pertes, et la méthode FOA4.0 fournit un modèle de correction empirique.

2.4 L'estimation de l'IE_{nvPMnumber,e} [indice d'émission pour le nombre des particules non volatiles (nvPM_{number}) à la sortie de tuyère du moteur] est basé sur l'IE_{nvPMmass,e} (indice d'émission pour nvPM_{mass} à la sortie de tuyère du

moteur), après correction des pertes, sur une estimation du diamètre géométrique moyen (GMD) de la particule, de la densité supposée de la particule et la distribution des tailles de particules.

2.5 Pour la masse et le nombre de nvPM, les méthodes FOA4.0 sont fondées sur la méthode SCOPE11 pour estimer les émissions de carbone noir des avions (voir la liste de références).

2.6 L' $IE_{nvPM_{mass,e}}$ et l' $IE_{nvPM_{number,e}}$ doivent être calculés pour les différents paramètres de poussée utilisés aux abords des aéroports.

$IE_{vPM_{mass-FSC}}$ de particules de sulfate volatiles

2.7 Les particules de sulfate volatiles sont formées à partir du soufre du carburant, par oxydation de SO_2 (S^{IV}) en SO_3 (S^{VI}) et hydratation ultérieure, dans le panache d'échappement, de SO_3 en H_2SO_4 . L'IE est calculé à partir de la teneur en soufre du carburant et du taux de conversion de S^{IV} en S^{VI} (ϵ). L'IE ne varie donc pas avec le réglage de puissance.

$IE_{vPM_{mass-organiques}}$ de particules organiques volatiles

2.8 Les mesures de matières organiques condensables dans l'échappement du moteur sont fort limitées. Sur la base de l'hypothèse selon laquelle les matières organiques condensables sont directement liées à des hydrocarbures non brûlés, on fait une estimation en mettant à l'échelle l'IE d'hydrocarbures OACI communiqué pour le moteur avec ceux d'autres moteurs figurant dans la base de données. En formulant une seconde hypothèse selon laquelle les moteurs modernes se comportent de façon semblable, on pourra multiplier le ratio de HC par l'IE de masse de particules organiques volatiles pour le moteur CFM56-2-C1, mesuré lors de l'*Aircraft Particle Emissions Experiment 1* (APEX1) de la NASA¹. Le résultat est un IE propre à la fois au moteur et au réglage du régime moteur pour les particules organiques volatiles.

Particules provenant du lubrifiant du moteur

2.9 On ne dispose pas de données qui permettraient de prédire cet IE pour les particules. Il est actuellement supposé, sur la base des résultats de mesures provenant de l'expérience APEX1, que l'IE de particules organiques volatiles inclut une contribution due au lubrifiant.

3. SOURCES DE DONNÉES

Banque de données sur les émissions des moteurs (EEDB) de l'OACI

3.1 On trouvera des valeurs de SN, IE_{HC} et BPR pour les moteurs dans l'EEDB de l'OACI pour les quatre réglages du régime moteur du cycle d'atterrissage et de décollage (CAD). La banque de données présente malheureusement des lacunes pour les valeurs de SN et de BPR. Le CAEP de l'OACI s'est occupé de ce problème comme suit :

- a) addition de nouvelles données moteurs ;

1. NASA. Aircraft Particle Emissions Experiment (APEX), C.C. Wey, U.S. Army Research Laboratory, Glenn Research Center, Cleveland, Ohio, ARL-TR-3903, 2006-214382, septembre 2006.

- b) éclaircissements pour turboréacteurs double flux mixtes, selon que les mesures ont été faites sur le noyau central du moteur ou à la fois sur le noyau central et l'air de dilution en indiquant « TF » si le SN rapporté correspond au noyau central et en indiquant « MTF » si le SN rapporté est dilué par l'air de dilution du réacteur ;
- c) addition de données SN manquantes.

3.2 Les données SN étant fragmentaires pour beaucoup de moteurs dans l'EEDB de l'OACI, certaines indiquant seulement le SN maximum, des lignes directrices générales ont été établies pour aider à combler les lacunes dans les données. Ces lignes directrices s'appliquent si, au lieu d'une valeur indiquée dans une liste, on a le symbole « – » ou « NA » (non applicable) indiquant que le SN n'a pas été obtenu à ce réglage de poussée particulier, ou n'a pas été indiqué, étant donné que seul le maximum est requis. Ces lignes directrices, mises au point par Calvert², reposent sur l'analyse de tendances modales au sein de groupes de moteurs pour obtenir des facteurs d'échelle que l'on pourra utiliser pour remplir les données manquantes. Un facteur d'échelle est un ratio du SN pour un régime (*mode*) au SN maximum pour un moteur :

$$SF = \frac{SN_k}{SN_{max}} \quad \text{Éq. D-1}$$

où :

SF = facteur de mise à l'échelle ;

SN_k = SN pour l'un des modes k (décollage, montée, approche ou ralenti) ;

SN_{max} = SN maximum.

3.3 Pour réduire les incertitudes dans la mise au point des valeurs de SF, les SN dont les valeurs sont inférieures à six ont été exclus de l'analyse. Les valeurs de SF qui en résultent sont présentées dans le Tableau D-1. La majorité des moteurs entrent dans la catégorie de moteurs « non DAC » (chambre de combustion annulaire double) ; les moteurs Aviadvatel, General Electric CF34, Textron Lycoming et DAC ont cependant des valeurs SF sensiblement différentes de la norme.

Tableau D-1. Valeurs SF suggérées pour remplir les SN manquants dans l'EEDB de l'OACI

Catégorie de moteurs	Décollage	Montée	Approche	Ralenti
La plupart des moteurs non DAC	1,0	0,9	0,3	0,3
Moteurs Aviadvatel	1,0	1,0	0,8	0,3
Moteurs GE CF34	1,0	0,4	0,3	0,3
Moteurs Textron Lycoming	1,0	1,0	0,6	0,3
Moteurs CFM DAC	0,3	0,3	0,3	1,0

3.4 En utilisant ces valeurs de SF et l'Éq. D-1, on peut remplir les données SN manquantes si l'on connaît au moins une des valeurs modales de SN pour un moteur.

2. J.W. Calvert, "Revisions to Smoke Number Data in Emissions Data bank," *Gas Turbine Technologies*, QinetiQ, 23 février 2006.

3.5 Il est à noter qu'il existe des préoccupations concernant l'estimation des nvPM qui s'ajoutent à celles concernant certains SN manquants dans l'EEDB de l'OACI. Si un SN est indiqué comme zéro, les estimations de la méthode FOA4.0 pour $IE_{nvPM_{mass}}$ et $IE_{nvPM_{number}}$ seront supérieures à zéro, ce qui est réaliste, mais les valeurs ne seront pas du tout fiables. Dans certains cas, le SN pour le réglage du régime moteur sur ralenti est indiqué avec un astérisque (*) comme exposant. Cela indique que le SN a été calculé à un réglage autre que 7 %. En général, pour un SN inférieur à 3, les estimations de nvPM peuvent devenir non fiables. Finalement, si la valeur est précédée du symbole « < », il convient d'utiliser la valeur donnée, sachant que le résultat sera probablement une surestimation (la nomenclature dans l'EEDB peut être modifiée selon qu'il convient).

Rapport air-carburant (RAC)

3.6 Le RAC ne figure pas dans l'EEDB de l'OACI. Le problème a été surmonté par l'usage de RAC moyens pour le parc aérien. Ces valeurs génériques, convenues avec des représentants des trois principaux motoristes, sont présentées dans le Tableau D-2.

Tableau D-2. RAC_k représentatifs par réglage du régime moteur (mode k) OACI

Réglage de la poussée	RAC
7 % (k = ralenti)	106
30 % (k = approche)	83
85 % (k = montée)	51
100 % (k = décollage)	45

Particules de sulfate volatiles ($IE_{PM_{mass-TSC}}$)

3.7 La teneur en soufre du carburant (TSC), qui peut varier largement entre différents lots de carburant d'aviation, ne figure pas dans l'EEDB de l'OACI. Pour l'application aux inventaires des émissions d'aéroport, cette entrée a été laissée comme variable pour permettre l'emploi de la valeur la plus applicable, telle la teneur en soufre moyenne nationale et/ou internationale. Comme guide, les valeurs TSC typiques se situent entre 0,005 et 0,068 % du poids³, avec une moyenne globale de 0,03 % du poids⁴. Une valeur prudente de 0,068 % du poids est actuellement recommandée en l'absence de données TSC plus spécifiques.

3.8 Il y a des incertitudes en ce qui concerne le processus de conversion de S^{IV} en S^{VI} , la production non linéaire de S^{VI} , qui varie avec les changements de la TSC, et les conditions de fonctionnement du moteur. La variable pour l'efficacité de conversion du soufre du carburant (ϵ) pourra être introduite directement par le praticien si des renseignements détaillés sont connus. Cependant, la valeur est souvent inconnue et il est recommandé dans ces cas d'employer une valeur par défaut. Sur la base des mesures les plus récentes provenant d'APEX et de Partemis⁵, l'efficacité de la conversion du soufre peut se situer entre 0,5 et plus de 3,5 % du poids. Une valeur médiane de 2,4 % du poids, sur la base des mesures APEX, est recommandée comme valeur par défaut. La valeur de l'efficacité de conversion du soufre du carburant fait encore l'objet de recherches et il est à prévoir qu'elle sera affinée à l'avenir.

3. Coordinating Research Council, Inc., *Handbook of Aviation Fuel Properties*, Third Edition, CRC Report No. 635, Alpharetta, GA, U.S.A., 2004.

4. GIEC, *Aviation and the Global Atmosphere*, Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, 1999, ISBN 0 521 66404 7.

5. E. Katragkou et al., "First gaseous Sulphur (VI) measurements in the simulated internal flow of an aircraft gas turbine engine during project PartEmis," *Geophysical Research Letters*, novembre 2003, ISSN 0094-8276.

Aérosols organiques volatils ($vPM_{mass-FuelOrganics}$)

3.9 Les particules organiques volatiles sont calculées à partir du ratio moteur de IE_{HC} indiqué dans l'EEDB de l'OACI, le dénominateur étant l' IE_{HC} pour le moteur CFM56-2-C5, ce qui est la valeur la plus proche du moteur mesurée lors de l'APEX¹. Ce ratio est multiplié par l'IE mesuré de particules organiques volatiles provenant de l'APEX1 pour le moteur CFM56-2-C1. Les valeurs mesurées figurent dans le Tableau D-3.

Tableau D-3. IE mesuré de particules volatiles (provenant de la référence 1) utilisé pour calculer les particules organiques volatiles

Mode k CAD	$IE_{vPM_{mass-orgCFM56,k}}$ (mg/kg carburant)
Décollage	4,6
Montée	3,8
Approche	4,5
Ralenti	11,3

4. CALCUL DE L'IE DES PARTICULES

Masse et nombre de nvPM

4.1 La présente section décrit la procédure d'estimation des IE pour $nvPM_{mass}$ et $nvPM_{number}$ à la sortie de la tuyère du moteur, $IE_{nvPM_{mass,e,k}}$ et $IE_{nvPM_{number,e,k}}$, pour un mode k unique.

4.2 Les étapes 1 à 3 donnent l' $IE_{nvPM_{mass,e,k}}$ (basé sur l'indice de fumée pour un moteur fonctionnant en mode k, SN_k), et l'étape 4, l' $IE_{nvPM_{number,e,k}}$ (basé sur $IE_{nvPM_{mass,e,k}}$).

Estimation de $IE_{nvPM_{mass,e,k}}$ ($\frac{g}{kg \text{ fuel}}$)

4.3 Il est nécessaire d'extraire les informations suivantes de l'EEDB : indices de fumée pour chaque moteur fonctionnant en mode f k (SN_k) ; informations sur la question de savoir si les SN proviennent du noyau central du moteur (désignation du moteur dans l'EEDB « TF » = SN_k non mixte) ou dilués par l'air de dilution (désignation du moteur dans l'EEDB « MTF » = SN_k mixte) ; et le BPR dans le cas d'un SN_k mixte.

4.4 **Étape 1** : À partir du SN d'un moteur fonctionnant en mode k, il est possible de calculer la concentration massique estimée de nvPM à l'emplacement de l'instrument (C_k) dans le système de mesure normalisé de l'OACI à l'aide de la corrélation de l'Éq. D-2 :

$$C_k \left(\frac{\mu g}{m^3} \right) = \frac{648,4 e^{0,0766 \cdot SN_k}}{1 + e^{-1,098 \cdot (SN_k - 3,064)}} \cdot C_r \quad \text{Éq. D-2}$$

avec $C_r = 1 \frac{\mu g}{m^3}$

4.5 **Étape 2** : L'IE en masse de nvPM à l'emplacement de l'instrument ($IE_{nvPM_{mass,k}}$) est calculé en multipliant C_k par le volume d'échappement spécifique (Q_k) (voir Éq. D-3), tandis que Q_k est calculé à l'aide de l'Éq. D-4 avec la valeur

de β dépendante de la configuration de l'échappement du moteur (SN_k non mixte ou mixte). Les moteurs équipés de tuyères mixtes (« MTF » dans l'EEDB) nécessitent une correction pour le BPR, et par conséquent $\beta = BPR$. Pour tous les autres moteurs (p. ex., « TF » dans l'EEDB), régler à $\beta = 0$.

$$IE_{nvPM_{mass,k}} \left(\frac{g}{kg \text{ fuel}} \right) = C_k \left(\frac{\mu g}{m^3} \right) \cdot 10^{-6} \cdot Q_k \left(\frac{m^3}{kg \text{ fuel}} \right) \quad \text{Éq. D-3}$$

$$Q_k = (0,777 \cdot AFR_k \cdot (1 + \beta) + 0,767) \cdot Q_r \quad \text{Éq. D-4}$$

$$\text{avec } Q_r = 1 \frac{m^3}{kg \text{ fuel}}$$

Les valeurs moyennes du RAC_k figurent dans le Tableau D-2.

4.6 **Étape 3** : La concentration de $nvPM_{mass}$ à l'emplacement de l'instrument (C_k) déterminée par l'Éq. D-2 est toujours inférieure à la sortie de tuyère du moteur du fait des pertes de particules dans le système d'échantillonnage. Pour les mesures d'émissions gazeuses, un système d'échantillonnage antifuites sans réactions chimiques d'espèces gazeuses préservera l'échantillon à l'emplacement de l'instrument, mais pour les mesures de particules, une partie des particules sera toujours perdue — par exemple, parois du système d'échantillonnage. En ce qui concerne les inventaires d'émissions, il est nécessaire de calculer les IE en masse de $nvPM$ pour chaque mode de fonctionnement du moteur à la sortie de tuyère du moteur ($IE_{nvPM_{mass,e,k}}$), et cela nécessite une estimation de la correction en fonction du mode de fonctionnement du moteur pour les pertes de particules. La caractéristique de la perte de particule du système d'échantillonnage des particules normalisé de l'OACI a été transférée à l'Éq. D-5.

- a) Employer la C_k estimée pour calculer le facteur de correction de perte du système selon le mode de fonctionnement pour $nvPM_{mass}$ ($k_{slm,k}$) dans l'Éq. D-5 :

$$k_{slm,k} = \ln \left(\frac{3,219 \cdot C_k \cdot (1 + \beta) + 312,5}{C_k \cdot (1 + \beta) + 42,6} \right) \quad \text{Éq. D-5}$$

- b) L' $IE_{nvPM_{mass,e,k}}$ est calculé en multipliant l' $IE_{nvPM_{mass,k}}$ par $k_{slm,k}$:

$$IE_{nvPM_{mass,e,k}} \left(\frac{g}{kg \text{ fuel}} \right) = k_{slm,k} \cdot IE_{nvPM_{mass,k}} \left(\frac{g}{kg \text{ fuel}} \right) \quad \text{Éq. D-6}$$

$$\text{Estimation de l}'IE_{nvPM_{number,e,k}} \left(\frac{\#}{kg \text{ fuel}} \right)$$

4.7 L'estimation de l' $IE_{nvPM_{number,e,k}}$ nécessite l' $IE_{nvPM_{mass,e,k}}$ obtenue de l'Éq. D-6 et les diamètres géométriques moyens (GMD_k) des particules $nvPM$ selon le mode de fonctionnement du moteur, figurant dans le Tableau D-4.

Tableau D-4. Valeurs standard du GMD_k présentées en fonction des réglages de poussée (mode k) de l'OACI

mode k CAD	GMD_k (nm)
Décollage	40
Montée	40
Approche	20
Ralenti	20

4.8 **Étape 4** : L'IE en nombre de nvPM à la sortie de tuyère du moteur pour un mode de fonctionnement unique k ($IE_{nvPMnumber,e,k}$) est alors calculé à l'aide de l'Éq. D-7 :

$$IE_{nvPMnumber,e,k} \left(\frac{\#}{kg \text{ fuel}} \right) = \frac{6 \cdot IE_{nvPMmass,e,k} \left(\frac{g}{kg \text{ fuel}} \right) \cdot N_r}{\pi \cdot \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot GMD_k^3 (nm^3) \cdot e^{4.5(\ln(\sigma))^2}} \quad \text{Éq. D-7}$$

où $\sigma = 1,8$ est l'écart géométrique standard supposé de la répartition en taille des particules nvPM. $\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$ est la densité effective moyenne supposée de la particule nvPM et $N_r = 10^{24} \frac{kg \cdot nm^3}{g \cdot m^3}$ est le facteur d'échelle unitaire.

PM de sulfates volatiles

4.9 L'IE pour les PM de sulfates est calculé à partir de :

$$IE_{vPMmass-FSC} \left(\frac{mg}{kg} \right) = (10)^6 \left[\frac{(FSC)(\epsilon)(MW_{out})}{MW_{Sulphur}} \right] \cdot S_r \quad \text{Éq. D-8}$$

où :

$MW_{produit} = 96$ (SO_4^{-2}) et $MW_{soufre} = 32$. Les valeurs de TSC et ϵ sont définies par l'utilisateur avec les valeurs par défaut définies précédemment, et $S_r = 1 \frac{mg}{kg}$ est le facteur d'échelle unitaire.

PM organiques volatiles

4.10 L'IE des PM organiques volatiles est calculé à partir de :

$$IE_{PMvol-vPMmass-FuelOrganics,k} = \frac{IE_{vPM-orgCFM56,k}}{IE_{HCCFM56,k}} (IE_{HCEngine,k}) \text{ mg/kg} \quad \text{Éq. D-9}$$

où $IE_{HCCFM56}$ est l'IE d'hydrocarbures total OACI pour le moteur CFM56-2-C1. $IE_{PMvol-orgCFM56}$ est l'IE des éléments organiques volatils mesurés lors d'APEX1 provenant du Tableau D-3, et $IE_{HCMoteur,k}$ est l' IE_{HC} tiré de l'EEDB OACI pour le moteur considéré (le moteur où l'IE est déterminé) pour mode k. Il est à noter que :

- les unités de $IE_{HCMoteur}$ et $IE_{HCCFM56}$ sont des g/kg de carburant, comme indiqué dans l'EEDB OACI, et s'annulent ;

- b) le ratio de $IE_{PMvol-orgCFM56,k}$ et $IE_{HCCFM56,k}$ est une constante pour chaque mode. La valeur modale de l' IE_{HC} pour le moteur considéré étant la seule qui change, une simplification peut être apportée à l'Éq. D-10, qui sera plus facile à calculer. Cela donne :

$$IE_{vPM-organiques,k} = (\delta_k) (IE_{HC\text{Moteur},k}) \text{ mg/kg} \quad \text{Éq. D-10}$$

où δ_k est un ratio constant par mode k. Les valeurs de cette constante sont données dans le Tableau D-5 pour chaque mode.

Tableau D-5. Valeurs par mode pour le ratio de $IE_{vPMI-orgCFM56}$ et $IE_{HCCFM56}$ dans l'Éq. D-10

Mode k CAD	δ_k (mg/g)
Décollage	115
Montée	76
Approche	56,25
Ralenti	6,17

5. EXEMPLES DE CALCULS

5.1 Cet exemple est basé sur le calcul des IE pour les PM pour les moteurs de série JT8D-217 dont l'UID OACI est 1PW018. Des valeurs dérivées sont présentées pour tous les modes, tandis que des calculs complets sont montrés seulement pour le mode ralenti, le processus étant simplement répété pour les autres modes avec des variables appropriées. Évidemment, les PM pour le soufre ne changent pas selon le réglage du régime moteur et sont les mêmes pour tous les modes. Les données IE_{HC} et SN pour le mode ralenti tirées de l'EEDB de l'OACI pour ce moteur sont présentées dans le Tableau D-6.

5.2 Pour remplir la valeur SN manquante pour le mode ralenti, on utilise un facteur de mise à échelle de 0,3 tiré du Tableau D-1 correspondant à « la plupart des moteurs non DAC » et le mode k = ralenti :

$$SN_{idle} = (0,3)(13,3) = 3,99.$$

Tableau D-6. Données OACI pour le moteur série JT8D-217, mode ralenti

Mode CAD	IE_{HC} (g/kg)	SN
Décollage	0,28	13,2
Montée	0,43	Manquant
Approche	1,6	Manquant
Ralenti	3,33	Manquant
Valeur maximale	NA	13,3

5.3 En supposant une teneur en soufre du carburant de 0,068 % du poids (fraction 0,00068) et un taux de conversion de S^{IV} à S^{VI} de 2,4 % du poids (fraction 0,024), l'IE_{PMvol-TSC} indépendant modal est calculé comme suit :

$$IE_{vPMmass-FSC,idle} = (10^6) \left[\frac{(0,00068)(0,024)(96)}{32} \right] = 49,0 \text{ mg/kg ou } 0,049 \text{ g/kg.}$$

5.4 L'IE_{vPM-organiques} peut être calculé en employant les valeurs des Tableaux D-3 et D-5 et l'IE_{HC} pour le moteur spécifique figurant dans l'EEDB de l'OACI qui correspond au mode ralenti :

$$IE_{vPMmass-organiques,idle} = \frac{11,3}{1,83}(3,33) = 20,6 \text{ mg/kg ou } 0,021 \text{ g/kg.}$$

5.5 Autrement, les valeurs du Tableau D-5 peuvent être multipliées par l'IE_{HC} pour le moteur spécifique indiqué dans l'EEDB de l'OACI comme suit :

$$IE_{vPMmass-organiques,idle} = (6,17)(3,33) = 20,5 \text{ mg/kg.}$$

5.6 Le moteur JT8D-217 est un moteur à flux mixte (« MTF ») avec un BPR de 1,73, qui doit être pris en compte pour l'estimation des IE en masse et en nombre des nvPM. En résumé, le calcul de cet exemple résulte de l'application de la méthode FOA4.0 au calcul de la masse et du nombre de nvPM au mode ralenti pour le moteur de série JT8D-217 :

$$IE_{nvPMmass,e,idle} = 0,181 \text{ g/kg} = 181 \text{ mg/kg,}$$

$$IE_{nvPMnumber,e,idle} = 9,2 \cdot 10^{15} \text{ \#/kg.}$$

5.7 L'IE total pour tous les composants des émissions massiques de PM est alors :

$$IE_{tPMmass,idle} = 181 + 49 + 21 = 251 \text{ mg/kg de carburant ou } 0,251 \text{ g/kg de consommation de carburant.}$$

5.8 Tandis que l'IE pour le soufre ne change pas selon le réglage de puissance, les autres IE doivent être calculés pour chaque mode k. Le Tableau D-7 montre les résultats pour tous les modes. Il est à noter que le SN maximum a été employé pour les estimations de l'IE des nvPM.

**Tableau D-7. Valeurs de IE_{PM} pour le moteur de série JT8D-217
(mg/kg de carburant et \#/kg de carburant)**

Réglage de la puissance défini par l'OACI (mode)	IE _{nvPMmass,e,k}	IE _{vPMmass-FSC,k}	IE _{vPMmass-organiques,k}	IE _{PMmass} total par mode k	IE _{nvPMnumber,e,k}
Ralenti	181	49,0	21	251	9,2 · 10 ¹⁵
Approche	142	49,0	90	281	7,2 · 10 ¹⁵
Montée	212	49,0	33	294	1,3 · 10 ¹⁵
Décollage	207	49,0	32	288	1,3 · 10 ¹⁵

6. INCERTITUDES

6.1 Comme son titre le suggère, le processus FOA4.0 est une approximation. Le groupe ad hoc sur les PM du WG3 du CAEP a cherché à rendre la méthodologie aussi précise que possible. L'utilisateur devrait cependant savoir que les concepts physiques ne sont pas tous bien compris et que les données pour beaucoup des paramètres sont rares. Il en résulte des incertitudes dans la méthodologie d'estimation, notamment :

- a) absence de données dans l'EEDB de l'OACI, en particulier :
 - 1) SN_k ;
- b) emploi de valeurs moyennes pour le moteur spécifique considéré :
 - 1) RAC ;
 - 2) teneur en soufre du carburant ;
 - 3) facteur de conversion de S^{IV} à S^{VI} ;
 - 4) technologie de la chambre de combustion et comportement de chaque moteur relativement à la formation de particules ;
- c) données extrêmement limitées sur les matières organiques volatiles et absence de conventions de mesure ;
- d) pas d'informations sur l'effet des lubrifiants des moteurs ;
- e) imprécisions et différences de mesure dans les données communiquées :
 - 1) l'Annexe 16 spécifie que les SN mesurés peuvent varier de ± 3 ;
 - 2) de faibles valeurs de SN entrées des formules d'estimation peuvent entraîner des prédictions très inexactes de la concentration massique des nvPM et ensuite de leur concentration en nombre ;
- f) la correction des pertes de particules peut donner lieu à des incertitudes encore plus grandes, au niveau de la conversion des valeurs estimées à la mesure au niveau des instruments aux valeurs estimées à la sortie de tuyère du moteur. La quantification de la soi-disant correction des pertes de particules par le système est extrêmement complexe et ne peut être dérivée que de modèles physiques ;
- g) hypothèses quant aux GMD des nvPM, à la densité effective des particules et à la distribution des tailles de particules.

6.2 Les motoristes s'occupent des limitations de l'EEDB par l'intermédiaire du WG3 du CAEP. Des valeurs du RAC des moteurs et d'autres paramètres liés à la combustion pour les types de moteur individuels sont peu susceptibles d'être disponibles, étant commercialement sensibles. Une confiance accrue en ce qui concerne le facteur de conversion du S^{IV} au S^{VI} , les matières organiques volatiles et l'effet des lubrifiants des moteurs viendra lorsque l'on disposera de plus de mesures expérimentales et de techniques de mesure améliorées.

6.3 Les estimations de nvPM (en masse et en nombre) peuvent varier de l'ordre de 50 % à 125 % pour la plupart des moteurs et peuvent différer encore plus (ordre de grandeur) de valeurs mesurées. Lorsqu'elles sont disponibles, les données de certification sur les nvPM des moteurs devraient toujours être utilisées pour les inventaires du fait des inexactitudes des méthodes d'estimation. Les méthodes sont disponibles pour des estimations des émissions de particules

de l'ensemble de la flotte aux aéroports. Selon le paragraphe 6.1 ci-dessus, les méthodes ne sont pas adéquates pour évaluer les émissions des moteurs pris individuellement, pour les comparaisons entre moteurs ou les modes de moteurs.

6.4 Depuis les débuts du processus FOA et son évolution en FOA3.0 et en FOA4.0, la méthodologie a continué d'évoluer et la précision des estimations pour les particules non volatiles s'est améliorée. Le processus FOA, qui n'est pas statique, continuera d'évoluer, alors que les données de mesure pour la certification des nvPM sont publiques. Des méthodes d'estimation sont encore nécessaires pour certains moteurs qui ne sont plus en production avant 2020 et pour les calculs des émissions de particules volatiles. D'ici là le CAEP continuera d'examiner les renseignements disponibles afin d'améliorer dans la mesure du possible la méthodologie et les paramètres d'entrée.

Pièce jointe E à l'Appendice 1

LISTE DE RÉFÉRENCES

- Administration fédérale de l'aviation (FAA), *Technical Data to Support FAA Advisory Circular on Reducing Emissions from Commercial Aviation*, 1995.
- Agarwal, A. et al., "SCOPE11 Method for Estimating Aircraft Black Carbon Mass and Particle Number Emissions," *Environmental Science & Technology*, 2019, DOI: 10.1021/acs.est.8b04060.
- Coordinating Research Council, Inc., *Handbook of Aviation Fuel Properties*, Third Edition, CRC Report No. 635, Alpharetta, GA, USA, 2004.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Aviation and the Global Atmosphere* (L'aviation et l'atmosphère planétaire), Cambridge University Press, 1999, ISBN 0 521 66404 7.
- Hagen, D.E. et al., "Particle emissions in the exhaust plume from commercial jet aircraft under cruise conditions," *Journal of Geophysical Research*, 101(D14), 1996, pp. 19551–19557.
- Kärcher, B. et al., "Particles and Cirrus Clouds (PAZI) — Overview of results 2000–2003," R. Sausen and G.T. Amanatidis (eds.), in *Proceed. European Workshop Aviation, Aerosols and Climate, Air Pollution Research Report No. 83, Commission des communautés européennes*, pp. 197–206.
- NARSTO, *Particulate Matter Science for Policy Makers: A NARSTO Assessment*, P. McMurry, M. Shepherd, and J. Vickery (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, England, 2004, ISBN 0 52 184287 5.
- National Research Council, Committee on Research Priorities for Airborne Particulate Matter, *Research Priorities for Airborne Particulate Matter: I. Immediate Priorities and a Long-Range Research Portfolio*, 1988, <https://www.nap.edu/catalog/6131/research-priorities-for-airborne-particulate-matter-i-immediate-priorities-and> (consulté en juin 2020).
- National Research Council, Committee on Research Priorities for Airborne Particulate Matter, *Research Priorities for Airborne Particulate Matter: IV. Continuing Research Progress*, 2004, <http://www.nap.edu/catalog/10957.html> (consulté en juin 2020).
- Petzold, A. et F.P. Schröder, "Jet engine exhaust aerosol characterization," *Aerosol Science Technology*, 28, 1998, pp. 62–76.
- Petzold, A. et al., "Near-field measurements on contrail properties from fuels with different sulphur content," *Journal of Geophysical Research*, 102 (D25), 1997, pp. 29867–29880.
- Petzold, A. et al., "Particle emissions from aircraft engines — a survey of the European project PartEmis," *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 14, n° 4, 2005, pp. 465–476.
- SAE AIR5715, *Procedure for the Calculation of Aircraft Emissions*, 2009, <https://www.sae.org/standards/content/air5715/> (consulté en juin 2020).

Schumann, U. et al., "In situ observations of particles in jet aircraft exhausts and contrails for different sulphur-containing fuels," *Journal of Geophysical Research*, 101(D3), 1996, pp. 6853–6869.

Schumann, U. et al., "Influence of fuel sulfur on the composition of aircraft exhaust plumes: The experiments SULPHUR 1-7," *Journal of Geophysical Research*, 107 (10.1029/2001JD000813), 2002, pp. AAC 2-1–AAC 2-27.

Whitefield, P.D. et al., NASA/QinetiQ Collaborative Program — Final Report, NASA TM-2002-211900 and ARL-CR-0508, NASA, Washington, D.C., USA, 2002, 193 pp.

EXEMPLES DE SYSTÈMES DE MODÉLISATION

La liste qui suit contient des exemples de systèmes de modélisation pour les études sur la qualité de l'air locale aux aéroports. Cette liste n'est pas complète et n'est pas prescriptive.

<i>Nom et version</i>	<i>Disponibilité</i>	<i>Site web</i>
ADMS	Application, accessible au public	www.cerc.co.uk
Open ALAQS	Application accessible par EUROCONTROL	www.eurocontrol.int
AEDT et EDMS 5.1	Application, accessible au public	www.faa.gov
LASPORT 2.3	Application, accessible au public	www.janicke.de

Appendice 2 au Chapitre 3

ÉMISSIONS LIÉES À L'ASSISTANCE EN ESCALE

1. INTRODUCTION

1.1 L'assistance en escale aux aéronefs lors des rotations ou pour la maintenance est une importante source d'émissions liées aux aéroports. Le type et le nombre de véhicules et de matériels utilisés pour l'assistance en escale dépendent de plusieurs facteurs, dont la taille et le type des aéronefs, les propriétés et l'agencement des postes de stationnement d'aéronef, ainsi que les caractéristiques technologiques et opérationnelles du matériel d'assistance en escale. Dans cette catégorie, il y a deux types généraux d'émissions, de quatre sources distinctes : a) émissions du matériel de servitude au sol (GSE) et des véhicules côté piste (émissions d'échappement des moteurs) et b) émissions provenant de l'avitaillement et du dégivrage des aéronefs [émissions par évaporation de composés organiques volatils (VOC)] :

a) *Émissions d'échappement*

- 1) *Matériel de servitude au sol (GSE)*. Les émissions des véhicules et de l'équipement utilisés pour l'assistance aux aéronefs au sol au poste de stationnement ou dans l'aire de maintenance ;
- 2) *Véhicules côté piste*. Véhicules de service et matériel opérant sur les voies de service dans le périmètre aéroportuaire (autre que les GSE).

b) *Émissions par évaporation*

- 1) *Avitaillement des aéronefs*. Émissions d'évaporation de VOC pendant l'avitaillement ;
- 2) *Dégivrage des aéronefs*. Émissions d'évaporation de VOC pendant le dégivrage (s'il y a lieu).

1.2 Une description des émissions des véhicules d'avitaillement, des dépôts de carburant et du dégivrage de surface est donnée à l'Appendice 3 au Chapitre 3.

2. ÉMISSIONS DU MATÉRIEL DE SERVITUDE AU SOL

Fonctionnement

2.1 Le fonctionnement du GSE est fonction de plusieurs paramètres qui peuvent varier considérablement d'un aéroport à un autre (voir Figure 3-A2-1). Dans la perspective de la résolution spatio-temporelle, cependant, ses émissions peuvent être mises en relation avec l'exploitation aérienne.

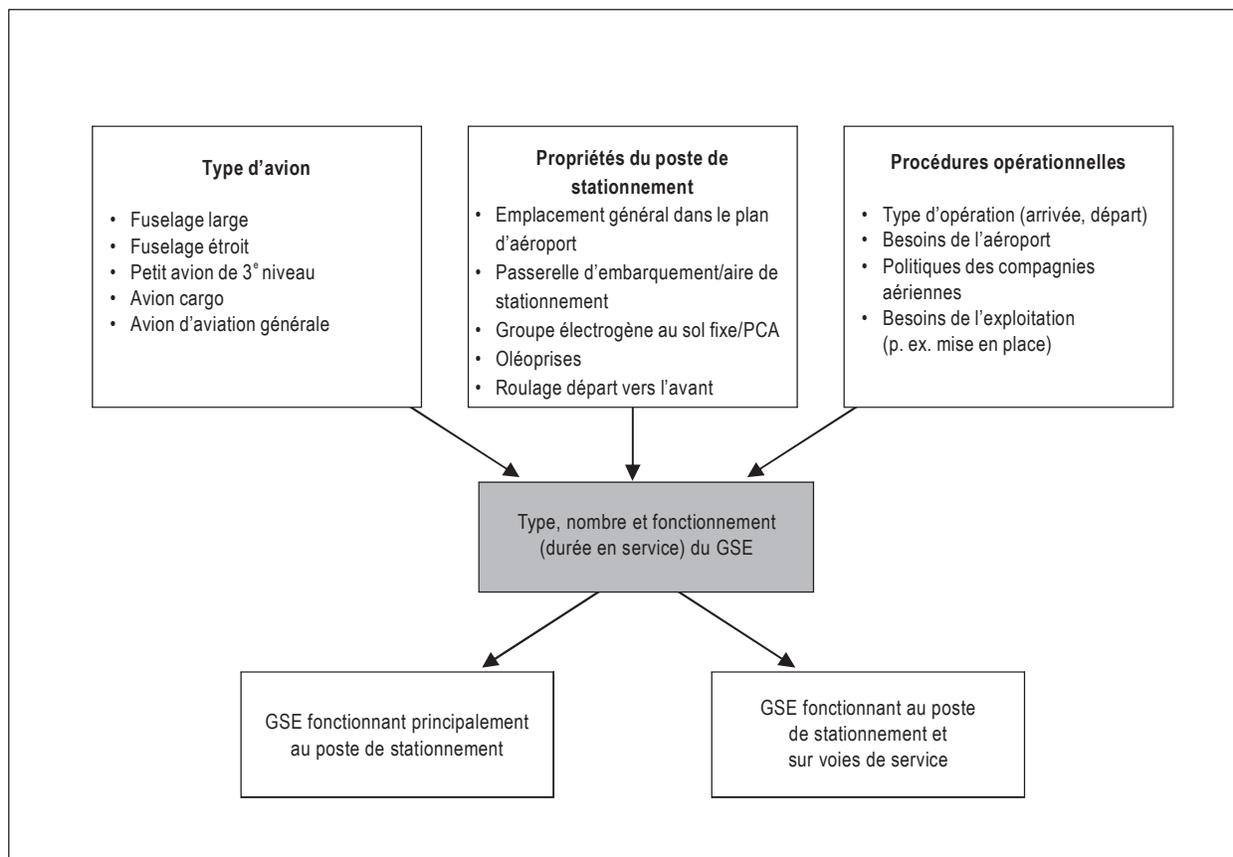


Figure 3-A2-1. Caractérisation des opérations GSE

2.2 Le GSE comprend souvent des véhicules « non routiers », spécialement conçus pour fournir aux aéronefs les services nécessaires (p. ex. appareils de chargement des marchandises, bandes convoyeuses de bagages, pousseurs-remorqueurs d'aéronefs). Destinés à des tâches à faible vitesse et construits pour manœuvrer dans des espaces étroits autour d'aéronefs en stationnement, ils peuvent se déplacer à travers l'aéroport mais desservent généralement un nombre limité d'endroits spécifiques. Ils sont généralement alimentés par des moteurs à combustion interne de divers types, mais d'autres technologies sont parfois employées. Certains matériels GSE fonctionnent cependant pendant un certain temps à un poste de stationnement puis utilisent des voies de service pour retourner vers des installations déterminées (p. ex. camions traiteurs, chariots-toilettes, chariots à bagages). Ils peuvent aussi être équipés de moteurs certifiés pour la circulation sur route. Le Tableau 3-A2-1 donne une liste des opérations de GSE les plus fréquentes pour l'assistance en escale, avec des valeurs par défaut suggérées pour les moteurs et les durées de service.

Tableau 3-A2-1. Matériel de servitude au sol (GSE) typique

Matériel de servitude au sol	Fonction	Type de moteur/équipement	Durée de service par tour	Observations
Groupe électrogène au sol (GES)	Alimente l'aéronef en énergie électrique	100–150 kW diesel ou essence ; charge 15 %–50 %	Dépend des horaires	Le système électrique peut être intégré dans le poste de stationnement/la passerelle
Unité de conditionnement d'air/chauffage	Fournit à l'aéronef air conditionné et/ou chaleur	150 kW diesel ou essence ; charge 50 %	Dépend des horaires et des conditions météo	Le système électrique du PCA peut être intégré dans le poste/la passerelle
Démarrateur pneumatique	Fournit le flux d'air haute pression pour démarrer les moteurs principaux	150 kW diesel ; charge 90 %	3–5 minutes	Généralement pas employé si l'aéronef est équipé d'un GAP de bord
Tracteur de refoulement fuselage étroit	Refoulement et maintenance	95 kW diesel ; charge 25 %	5–10 minutes	Il existe des tracteurs électriques
Tracteur de refoulement fuselage large	Refoulement et maintenance	400 kW diesel ; charge 25 %	5–10 minutes	
Escalier passagers	Facilite l'accès à l'aire de trafic	30–65 kW diesel ou essence ; charge 25 % ;	2–10 minutes	Il existe des escaliers motorisés ou électriques
Tapis roulant	Transfère les bagages entre les chariots et l'aéronef	33 kW diesel, essence ou GNC ; charge 25 %	10–50 minutes	Il existe des tapis roulants électriques
Remorqueur bagages	Remorque les chariots chargés pour transfert de bagages	30 kW diesel, GNC ou essence ; charge 50 %	10–50 minutes	Il existe des remorqueurs électriques
Chargeur de fret et de conteneurs	Soulève le fret lourd et les conteneurs pour aider au transfert	60 kW diesel ou essence avec dispositifs de levage ; charge 25 %	10–50 minutes	Différents types
Livraison du fret	Transfère le fret des chariots porte-palettes au chargeur	30 kW diesel ou essence ; charge 25 %	10–50 minutes	Différents types
Camion	Remorquage et services lourds divers	90 kW diesel ; charge 25 %	Variable	Très variable
Camion traiteur et service	Nettoyage et reconstitution des stocks d'aliments et fournitures	85–130 kW diesel avec cric ; charge 10–25 %	10–30 minutes	Peut utiliser moteurs certifiés pour circulation sur route
Chariot toilettes, eau potable	Vide le circuit toilettes de l'aéronef, remplit la réserve d'eau	120 kW diesel avec réservoir et pompe ; charge 25 %	5–20 minutes	Peut utiliser moteurs certifiés pour circulation sur route
Camion à oléoprise	Livre le carburant des citernes à l'aéronef	70–110 kW diesel avec pompes ; charge 10–50 %	10–40 minutes	Peut utiliser moteurs certifiés pour circulation sur route
Véhicule d'avitaillement	Pompe le carburant du camion vers l'aéronef	200 kW diesel avec pompes ; charge 10–50 %	10–40 minutes	Peut utiliser moteurs certifiés pour circulation sur route
Camion de dégivrage	Vaporise le fluide dégivrant sur l'aéronef avant le départ	180 kW diesel avec réservoir, pompes, vaporisateurs ; charge 10–60 %	5–15 minutes	Peut utiliser moteurs certifiés pour circulation sur route
Monte-charge de maintenance	Donne accès à l'extérieur de l'aéronef	70–120 kW diesel, GNC ou essence ; charge 25 %	Variable, peu utilisé	Peut utiliser moteurs certifiés pour circulation sur route
Bus passagers	Transporte les passagers entre l'aéronef et les installations	100 kW diesel, GNC ou essence ; charge 25 %	Variable (distance plutôt que temps)	Peut utiliser moteurs certifiés pour circulation sur route
Chariot élévateur	Soulève et transporte des objets lourds	30–100 kW diesel ; charge 25 %	Très variable	Il existe des chariots électriques ; utilisés surtout pour le fret
Véhicules divers (autos, fourgonnettes, camions)	Services divers	50–150 kW diesel, GNC ou essence ; charge 10–25 %	Très variable (distance plutôt que temps)	Généralement moteurs certifiés pour circulation sur route

2.3 Comme le montre le Tableau 3-A2-2, la taille de l'aéronef influence parfois l'attribution du poste de stationnement et souvent les procédures d'assistance (p. ex. nombre, types et temps de fonctionnement) impliquant le GSE.

Tableau 3-A2-2. Caractérisation de groupe d'aéronefs

Groupe d'aéronefs	Caractérisation
Aéronefs à fuselage large	Bagages passagers préchargés en conteneurs Gros volume de fret Escaliers passagers avec bus ou passerelle d'embarquement nécessaire Le temps d'escale pourrait inclure un déplacement de l'aéronef (stationnement de jour)
Aéronefs à fuselage étroit	Chargement libre des bagages passagers (pas en conteneurs) Petit volume de fret Escaliers passagers avec bus ou passerelle d'embarquement nécessaire Court temps d'escale
Petits aéronefs de troisième niveau	Bagages passagers à découvert Emportent un peu de fret (très petit volume) Temps d'escale court Escaliers passagers incorporés
Aéronefs cargos	Pas de besoins de « confort » (bus, bagages, conditionnement d'air) Équipement et véhicule spécialisés de traitement du fret
Aéronefs d'aviation générale	Pas de bagages, de fret, d'escaliers Activités d'assistance limitées

2.4 À la plupart des aéroports, on trouve les deux types suivants de postes de stationnement :

- a) postes de stationnement à une jetée, où une passerelle d'embarquement de passagers relie l'aéronef au bâtiment ;
- b) postes de stationnement éloignés/aires de stationnement où un aéronef est en stationnement sans liens directs avec un bâtiment (pour vols passagers et/ou cargo).

2.5 Les postes de stationnement eux-mêmes peuvent présenter des différences considérables en termes d'emplacement et d'équipement technique disponible, ce qui influence le nombre de GSE et leur fonctionnement et donc les émissions de cette source (voir Tableau 3-A2-3). Les postes de stationnement peuvent différer aussi pour des raisons d'usage dédié (p. ex. utilisation pour aéronefs cargos ou aéronefs passagers).

2.6 Les procédures opérationnelles déterminent aussi les types de GSE et les quantités de services de GSE nécessaires, ce qui est décrit ci-après :

- a) Le type de GSE utilisé varie largement selon les applications. Par exemple, les types de GSE nécessaires pour l'assistance aux aéronefs après l'atterrissage sont différents de ceux qui sont employés avant le départ et pour les services aux opérations passagers et fret.

Tableau 3-A2-3. Propriétés des postes de stationnement d'aéronef

Propriétés du poste de stationnement	GSE et conséquences opérationnelles	Notes
Poste équipé de passerelle d'embarquement passagers	L'aéronef n'a pas besoin d'escalier passagers	Peut exiger air conditionné, chauffage et/ou GES
Poste équipé de 400 Hz fixe	L'aéronef n'a pas besoin de GES et pourrait avoir besoin de conditionneur d'air (ACU).	
Équipé en outre de PCA (stationnaire) ou de conditionneur d'air (ACU)	L'aéronef n'a pas besoin de GES ou d'ACU	Stationnaire seulement ensemble avec 400 Hz
Poste équipé d'oléoduc pour kérosène	L'aéronef n'a pas besoin de camion-citerne pour l'avitaillement	L'aéronef a besoin d'un oléoserveur.
Agencement approprié pour manœuvre de dégagement auto-alimentée	L'aéronef n'a pas besoin de tracteur de refoulement	Pas possible pour postes avec passerelle

- b) Des réglementations des autorités (p. ex. en matière de sécurité ou opérationnelles) ou des exigences des exploitants d'aéroport (p. ex. procédures ou restrictions spécifiques à un aéroport) peuvent limiter ou exclure l'usage de certains GSE.
- c) L'exploitant aérien, en coopération avec l'agent des services d'escale, pourrait suivre certaines procédures qui influent sur les émissions du GSE.
- d) L'infrastructure aéroportuaire peut avoir une influence sur les possibilités d'emploi de types de carburants alternatifs ou d'autres facteurs qui pourraient influencer sur les émissions.
- e) L'agencement du poste de stationnement et la souplesse dans les opérations peuvent aussi être un facteur (relocalisation du GSE de poste à poste ou sur des postes éloignés pendant les opérations).

2.7 Des données opérationnelles peuvent être obtenues de différentes façons (p. ex. ascendante, évaluant différents éléments du GSE, ou descendante, utilisant les temps d'exploitation globaux ou la consommation de carburant pour la population GSE totale). Chaque option présente des avantages et le choix entre les options dépendra de facteurs tels que le but de l'inventaire d'émissions et sa conception, la disponibilité de données et leur précision. Les données opérationnelles pourraient inclure :

- a) la consommation de carburant totale de tous les GSE (par type de carburant) ;
- b) les heures de fonctionnement totales pour chaque type de GSE et le nombre d'unités par type (ici encore, avec distinction par type de carburant) ; et
- c) le temps de fonctionnement pour chaque élément du GSE pour opérations des aéronefs spécifiques ou individuelles (p. ex. CAD en général ou arrivée et départ séparément). Des renseignements spatio-temporels pourraient aussi être inclus. La précision du temps de service du GSE dans ce cas est très importante car des écarts même minimes pourraient entraîner des erreurs importantes.

Par exemple, si un pousseur-remorqueur était utilisé huit minutes par cycle (et non six minutes) pour 25 000 cycles d'assistance, l'erreur représenterait 843 heures de fonctionnement.

Facteurs d'émission

2.8 Les facteurs d'émission pour les GSE ne sont pas uniformes pour toutes les régions du monde. En fonction des normes régionales ou nationales ou des besoins opérationnels locaux, un même type de matériel pourrait être équipé de différents moteurs (p. ex. taille et technologie). Souvent, les facteurs d'émission sont communiqués comme facteurs d'émission de véhicules hors route ou de machines mobiles non routières. Ils dépendent du type de carburant, de la taille du moteur, du facteur de charge, de la technologie, de l'âge (ou du facteur de dégradation) ainsi que des dispositifs de réduction des émissions. Il est recommandé aux analystes d'obtenir d'abord des données spécifiques à l'industrie ou de vérifier avec les autorités compétentes la disponibilité d'autres facteurs d'émissions, s'ils ne sont pas autrement disponibles.

Calcul des émissions

2.9 Pour calculer les émissions de GSE, on pourra suivre l'une ou l'autre des deux approches simples ci-dessous, ainsi que les approches avancée ou sophistiquée.

Approche simple primaire

2.10 Dans une méthode très simple utilisant l'approche basée sur les aéronefs, on pourra calculer les émissions en utilisant le nombre d'arrivées ou de départs d'aéronefs, ou les deux, et des facteurs d'émission par défaut. Selon cette approche, aucune analyse du parc de GSE et de son fonctionnement n'est nécessaire. Le Tableau 3-A2-4 donne des exemples de facteurs d'émission représentatifs pour l'Aéroport de Zurich (Suisse), qui pourraient être utilisés pour une telle approche. Étant donné que l'équipement d'assistance varie selon le pays, l'aéroport et l'exploitant aérien, il convient de procéder à une analyse utilisant des facteurs d'émission appropriés pour le parc de GSE sur lequel porte l'évaluation.

Tableau 3-A2-4. Exemple de facteurs d'émission par défaut représentatifs de l'Aéroport de Zurich pour l'assistance en escale¹

Polluant	Unité	Technologie GSE 1990-2005		Technologie GSE 2000-2015	
		Aéronefs à fuselage étroit (jet à voilure fixe monocouloir)	Aéronefs à fuselage large (jet à voilure fixe à deux couloirs)	Aéronefs à fuselage étroit (jet à voilure fixe monocouloir)	Aéronefs à fuselage large (jet à voilure fixe à deux couloirs)
NO _x	kg/cycle	0,400	0,900	0,260	0,510
HC	kg/cycle	0,040	0,070	0,020	0,045
CO	kg/cycle	0,150	0,300	0,100	0,225
PM ₁₀	kg/cycle	0,025	0,055	0,015	0,030
nvPM	#/cycle	s.o.	s.o.	4,0E+13	1,1E+14
CO ₂	kg/cycle	18	58	20	48

1. Flughafen Zürich AG, 2006 et 2014, mise à jour partielle en 2017 (comprend un mélange de carburant composé d'essence, de diesel, de CNG et d'alimentation électrique).

2.11 Pour cette application, on calcule les émissions en multipliant le nombre de mouvements (par catégorie d'aéronefs ou le nombre total s'il n'y a pas de différenciation connue) par le facteur d'émission respectif (ou la moyenne des deux facteurs s'il n'y a pas de différenciation connue des aéronefs).

2.12 Par exemple, à un aéroport où s'effectuent 23 450 mouvements d'aéronefs à fuselage étroit et 9 600 mouvements d'aéronefs à fuselage large, avec des facteurs d'émission de NO_x supposés de 0,4 kg/cycle et 0,9 kg/cycle, la quantité totale de NO_x est :

$$0,4 \text{ kg/cycle} * (23\,450 \text{ mouvements}) [\text{fuselage étroit}] + 0,9 \text{ kg/cycle} * (9\,600 \text{ mouvements}) [\text{fuselage large}] \\ = 9\,010 \text{ kg NO}_x.$$

Approche simple secondaire

2.13 Une autre méthode, plus simplifiée, fait intervenir l'utilisation de carburant par le GSE. Dans cette approche, on calcule les émissions en obtenant les données réelles d'utilisation de carburant pour le GSE (ou en estimant ces données) puis en les combinant avec des facteurs d'émission moyens, indépendants du nombre, de la taille ou de la technologie du matériel. Des exemples de facteurs d'émission représentatifs de l'Europe qui pourraient être employés pour cette approche sont présentés dans le Tableau 3-A2-5. Étant donné que l'équipement d'assistance aux aéronefs varie selon les États, les aéroports et les exploitants aériens, une analyse devrait être effectuée en utilisant les facteurs d'émission appropriés pour le parc de GSE évalué.

$$\text{Émission}_{\text{Polluant}} [\text{g}] = \sum_{\text{types de carburant}} (\text{type de carburant total utilisé} [\text{kg}] \times \\ \text{facteur d'émission moyen} [\text{g/kg type de carburant}])$$

Éq. 3-A2-1

Tableau 3-A2-5. Exemple de facteurs d'émission européens pour les services d'assistance en escale²

Polluant	Diesel (g/kg)	Essence (g/kg)
NO _x	32,8	7,1
HC	3,4	17,6
CO	10,7	770,4
PM	2,1	0,1
CO ₂	3 160	3 197

2.14 Par exemple : si la quantité totale de carburant diesel utilisé pour le GSE est de 128 500 kg, et si un facteur d'émission moyen de 48,2 g NO_x/kg carburant est supposé, la quantité totale d'émissions de NO_x est 6 194 kg.

Approche avancée

2.15 Selon cette approche, les émissions sont calculées pour la population entière de GSE, dans son ensemble ou individuellement selon les besoins de GSE spécifiques aux aéronefs. Dans les deux cas, on emploiera le temps de fonctionnement réel ou l'utilisation de carburant réelle pendant une période définie (p. ex. un an) pour chaque type de GSE.

2. Diesel et essence : *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013*, 1.A.4.a.ii (d'autres valeurs peuvent être employées si c'est jugé plus approprié).

Pour appliquer cette méthode de calcul, il faut obtenir ou estimer la population pour le parc de GSE par catégorie et activité qui lui est associée (heures/année, utilisation de carburant/année) pour chaque élément du GSE. Il y a deux options, employant la consommation totale de carburant ou les heures de fonctionnement totales sur la population d'un certain modèle de GSE. Lorsque l'on emploie les heures de fonctionnement totales, on peut calculer les émissions en utilisant le débit carburant spécifique ou la taille et le facteur de charge du modèle de GSE. S'il est disponible, un facteur de dégradation pourra aussi être pris en considération.

$$\text{Émission}_{\text{Polluant}} [\text{g/GSE}] = \text{débit carburant} [\text{kg/h}] \times \text{facteur d'émission}_{\text{Polluant}} [\text{g/kg carburant}] \times \text{temps} [\text{h}] (\times \text{DF}) \quad \text{Éq. 3-A2-2}$$

ou

$$\text{Émission}_{\text{Polluant}} [\text{g/GSE}] = \text{puissance} [\text{kW}] \times \text{charge} [\%] \times \text{facteur d'émission}_{\text{Polluant}} [\text{g/kW}] \times \text{temps} [\text{h}] (\times \text{DF}) \quad \text{Éq. 3-A2-3}$$

ou

$$\text{Émission}_{\text{Polluant}} [\text{g/GSE}] = \text{débit carburant} [\text{kg/a}] \times \text{facteur d'émission } f_{\text{Polluant}} [\text{g/kg carburant}] (\times \text{DF}) \quad \text{Éq. 3-A2-4}$$

où :

puissance = taille du moteur (kW, parfois BHP) ;

facteur d'émission = basé sur le type de moteur, le type de carburant, l'âge, et reflétant la conception et la technologie de contrôle des émissions du GSE ;

temps [h] = durée de fonctionnement annuel total ;

DF = facteur de dégradation.

2.16 Pour cette application, les émissions du GSE sont ensuite additionnées pour toutes les unités d'un certain type d'équipement et sur toute la population de GSE.

2.17 Par exemple, si tous les escaliers passagers à l'aéroport, avec moteurs diesel de 95 kW, IE de 6,0 g NO_x/kWh et facteur de charge de 25 %, totalisent 3 500 heures de fonctionnement, et si un facteur de dégradation de 3 % est supposé, la quantité totale d'émissions de NO_x est :

$$95 \text{ kW} \times 0,25 \text{ facteur de charge} \times 6,00 \text{ g/kW-h} \times 3 \text{ 500 heures} \times 1,03 \text{ facteur de dégradation} \\ = 513 \text{ 712,5 g (514 kg NO}_x\text{)}.$$

Approche sophistiquée

2.18 Selon cette approche, toutes les émissions de GSE sont calculées pour chaque opération d'aéronef (p. ex. arrivée, départ et maintenance). Cette distinction opérationnelle est pertinente quand on relie les activités d'assistance à des tableaux de vols où un vol à l'arrivée et un vol au départ n'ont pas le même numéro de vol ou quand l'arrivée et le départ ne sont pas en succession temporelle (p. ex. pour escales nocturnes).

$$\text{Émission}_{\text{Polluant}} [\text{g}] = \text{puissance} [\text{kW}] \times \text{facteur de charge} [\%] \times \text{facteur d'émission}_{\text{Polluant}} [\text{g/kWh}] \times \text{temps}_{\text{AVC-Ops}} [\text{h}] \times \text{DF} \quad \text{Éq. 3-A2-5}$$

où :

temps_{A/C-Ops} [h] = temps moyen pour le fonctionnement d'une unité de GSE, selon le type d'opération (arrivée, départ ou maintenance), le poste de stationnement et la taille de l'aéronef ;

DF = facteur de dégradation (reflétant l'âge et la maintenance des GSE).

2.19 Les émissions des GSE sont à nouveau comptées pour tous les éléments d'un certain type d'équipement et chacune des opérations d'assistance (y compris la maintenance).

2.20 Par exemple, un escalier passagers est utilisé pendant 10 minutes pour un B-737 sur une aire de stationnement (p. ex. éloigné) à l'arrivée. L'escalier a un moteur de 45-kW, utilisé à 25 % de charge, avec un IE de NO_x de 6,0 g/kW-h et un facteur de dégradation de 3 %. Les NO_x totaux provenant de cette opération du GSE sont :

$$45 \text{ kW} \times 0,25 \text{ facteur de charge} \times 6,0 \text{ g/kW-h} \times 1,03 \text{ facteur de dégradation} \times 10 \text{ minutes} \times 1\text{-heure}/60 \text{ minutes} = 11,61 \text{ g NO}_x.$$

3. TRAFIC VÉHICULES CÔTÉ PISTE

3.1 On considère comme trafic de véhicules côté piste tout trafic de matériel et de véhicules opérant sur des voies de service côté piste dans le périmètre aéroportuaire, et pas seulement aux postes de stationnement d'aéronefs. Les émissions sont considérées comme étant générées lors de la circulation sur certaines distances plutôt que pendant des périodes de temps. Les véhicules côté piste n'incluent pas le GSE défini ci-avant. Le trafic passagers et employés côté piste est lui aussi décrit séparément, dans l'Appendice 4 au présent chapitre.

3.2 La plupart des véhicules côté piste sont des « véhicules équivalents à des véhicules routiers » et le calcul de leurs émissions peut être fait de la même façon que pour les véhicules routiers côté ville. Les orientations à ce sujet sont données dans l'Appendice 4.

4. AVITAILLEMENT DES AÉRONEFS

4.1 À la plupart des aéroports, les opérations d'avitaillement des aéronefs sont effectuées soit par un système souterrain d'oléoduc avec oléoserveurs ou par camions citernes. Dans les deux cas, de la vapeur de carburant (restant du carburant du vol mélangé avec l'air) est émise en provenance des réservoirs de carburant de l'aéronef pendant le processus d'avitaillement. Des vapeurs sont émises aussi lors du remplissage du camion-citerne au dépôt de carburant ou à l'installation de stockage équivalente. Les émissions qui seraient causées par les manipulations du carburant lors de la livraison au dépôt de carburant ou à l'installation de stockage ne sont pas considérées comme faisant partie de cette procédure, mais sont décrites séparément dans l'Appendice 3 au présent chapitre.

4.2 Les données opérationnelles nécessaires pour calculer les émissions liées à l'avitaillement des aéronefs incluent :

- a) quantité de carburant, par type de carburant (p. ex. kérosène ou essence aviation), livrée à l'aéronef par oléoserveur (kg) ; et/ou
- b) quantité de carburant livrée à l'aéronef par camion-citerne (kg).

4.3 Les facteurs d'émission moyens [appelés aussi indices d'émission (IE)] nécessaires incluent :

- a) émissions en g VOC/kg carburant pour avitaillement en kérosène ;
- b) émissions en g VOC/kg carburant pour avitaillement en essence aviation.

4.4 Le Tableau 3-A2-6 présente des facteurs d'émission typiques pour Zurich (Suisse). Une analyse devrait être effectuée en employant des valeurs du facteur d'émission appropriées pour le pays et/ou pour l'aéroport évalué³.

Tableau 3-A2-6. Facteurs d'émission typiques pour Zurich (Suisse)

Avitaillement de l'aéronef*	Unité	Valeur
Avitaillement en kérosène	g VOC/kg carburant	0,01
Avitaillement en essence aviation	g VOC/kg carburant	1,27

* KIGA (Office cantonal pour le commerce et l'industrie) Zurich, Suisse, 1994 (d'autres valeurs peuvent être employées si c'est considéré plus approprié).

4.5 À partir de ces informations, le calcul des émissions est effectué en employant l'équation suivante :

émissions [g VOC] =

$$\Sigma \text{types de fuel} ((\text{fuel}_{\text{livré par oléoseurver}}[\text{kg}] + 2 \times \text{fuel}_{\text{livré par camion citerne}}[\text{kg}]) \times \text{facteur d'émission [g/kg]e}) \quad \text{Éq. 3-A2-6}$$

4.6 Par exemple, si on a un total de 1 500 000 kg de Jet A-1 (IE 0,01 g VOC/kg) livré par camion, dont 85 % par oléoseurver, et 500 kg d'avgas (IE 1,27 g VOC/kg), la quantité totale provenant de l'avitaillement de l'aéronef est :

$$(1\,500\,000 \text{ kg Jet A-1} \times 0,85 \times 0,01 \text{ g VOC/kg Jet A-1}) + (1\,500\,000 \text{ kg Jet A-1} \times 0,15 \times 2 \text{ connexions} \times 0,01 \text{ g VOC/kg Jet A-1}) + (500 \text{ kg avgas} \times 2 \text{ connexions} \times 1,27 \text{ g VOC/kg avgas}) = 18\,520 \text{ kg VOC.}$$

5. DÉGIVRAGE DES AÉRONEFS

5.1 Les opérations de dégivrage pour les aéronefs et les installations des terrains d'aviation peuvent être sources de VOC et d'autres composés. Constituée soit de propylène glycol soit d'éthylène glycol et d'eau, l'application mécanique d'agents de dégivrage et d'antigivrage entraîne une certaine perte dans l'atmosphère due à l'évaporation et à la surpulvérisation. Cependant, en raison des préoccupations grandissantes concernant les effets des produits chimiques de dégivrage sur la qualité de l'eau, des processus de conservation et de récupération sont maintenant couramment employés, ce qui réduit le potentiel d'incidences sur la qualité de l'air.

5.2 Les émissions de VOC provenant des activités de dégivrage/antigivrage⁴ sont généralement basées sur la quantité de fluide de dégivrage utilisé, le pourcentage de produit chimique de dégivrage (éthylène glycol) dans le mélange et un facteur d'émission. Une source de données des États-Unis sur le taux d'émission de VOC pour les activités de dégivrage/antigivrage pour les aéronefs et pour les pistes, voies de circulation, etc. est présentée dans le Tableau 3-A2-7. Une analyse devrait être effectuée en employant des valeurs du facteur d'émission qui conviennent pour le pays et/ou pour l'aéroport évalué.

3. Par exemple, *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013*, 1.B.2.a.v.

4. Deux types d'activités de dégivrage, non liées entre elles, ont lieu aux aéroports : dégivrage des aéronefs, dans le cadre des services d'assistance en escale, et dégivrage de surfaces, dans le cadre de l'entretien de l'aéroport (indépendamment du volume de trafic ou de la taille des avions).

Tableau 3-A2-7. Source de données des États-Unis sur les émissions — activités de dégivrage/antigivrage

Substance	Source
Propylène glycol/éthylène glycol	FAA <i>Aviation Emissions and Air Quality Handbook</i> , 2014

5.3 Aux fins de démonstration, la formule suivante est donnée pour le calcul des émissions de VOC provenant des activités de dégivrage/antigivrage :

$$E_{\text{VOC}} = DF \times DS \times W_{\text{DS}} \times EF \quad \text{Éq. 3-A2-7}$$

où :

E_{VOC} = émissions de VOC (p. ex. kilogrammes) ;

DF = quantité de fluide de dégivrage (p. ex. litres) ;

DS = quantité de substance de dégivrage dans le fluide de dégivrage (pourcentage) ;

W_{DS} = poids de substance de dégivrage (p. ex. kilogrammes/litre) ;

EF = facteur d'émission (p. ex. kilogrammes/kilogrammes de produit de dégivrage).

5.4 L'exemple suivant, employant cette formule, est donné pour les opérations de dégivrage à un aéroport. Supposons qu'un aéroport utilise 5 kilolitres d'un mélange de dégivrage pour dégivrer des aéronefs et que 65 % du mélange de dégivrage soit de l'éthylène glycol. Le poids (ou la densité) de l'éthylène glycol est environ 2 kilogrammes/kilolitre et le facteur d'émission est de 0,11 kilogramme de VOC par kilogramme d'éthylène glycol utilisé. La quantité d'émissions de VOC produite serait donc :

$$5 \text{ kilolitres} \times 0,65 \times 2 \text{ kilogrammes/kilolitre} \times 0,11 \text{ kilogrammes VOC/kilogramme d'agent de dégivrage} = 0,65 \text{ kilogramme de VOC.}$$

5.5 Des niveaux d'émission futurs pourront être basés sur une augmentation prévue du trafic aérien et/ou sur la superficie totale des pistes, des voies de circulation et des routes, s'il y a lieu.

Appendice 3 au Chapitre 3

SOURCES D'ÉMISSIONS LIÉES À L'INFRASTRUCTURE ET SOURCES STATIONNAIRES

1. INTRODUCTION

1.1 Les aéroports sont généralement considérés comme un assemblage de sources d'émissions mobiles, qui se déplacent (c.-à-d. avions, GSE et véhicules motorisés). Cependant, la plupart des aéroports comportent aussi des sources d'émissions stationnaires (chaudières, génératrices de secours, incinérateurs, etc.) faisant partie de leur infrastructure et de leurs installations d'assistance. Contrairement aux sources mobiles, les sources stationnaires sont non mobiles et restent fixes ou immobiles, déchargeant les émissions à travers divers dispositifs tels que cheminées, conduits d'air et/ou événements.

1.2 D'autres sources d'émissions aériennes liées à l'infrastructure aéroportuaire sont classées comme sources « surfaces » (*area sources*). Conceptuellement, ces sources déchargent des émissions directement dans l'atmosphère et elles peuvent être mobiles ou stationnaires. D'une manière générale, les sources « surfaces » aux aéroports comprennent les installations de stockage/transfert de carburants, installations d'entraînement réel à la lutte contre l'incendie, opérations de dégivrage et activités de construction. Classées aussi comme sources d'émissions « hors routes » ou « non routières », les activités de construction font intervenir une grande diversité de camions, engins de terrassement, excavatrices, finisseurs et autre matériel lourd. Les activités de construction impliquant le stockage/transport de matières premières, l'élimination de débris de construction et la production d'asphalte ou de béton sont aussi considérées comme sources « surfaces ».

1.3 Le présent appendice donne des orientations sur la préparation d'estimations d'émissions pour les sources stationnaires et sources « surfaces » aux aéroports et pour les polluants CO, THC, NMHC, NO_x, SO_x et PM₁₀.

1.4 Il existe un large éventail de bases de données pour les facteurs d'émission qui peuvent être utilisées pour calculer les types et les quantités d'échappement d'émissions provenant de sources stationnaires aux aéroports. De ces bases de données, les deux qui sont le plus fréquemment citées en Europe et en Amérique du Nord sont celles de l'EPA des États-Unis et de l'Agence européenne de l'environnement :

- a) U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources (AP-42)*, 5^e édition, 1995 (avec suppléments jusqu'à 2009) ;
- b) *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (2013 ou versions ultérieures) : <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>.

1.5 Cependant, les approches méthodologiques présentées dans les documents cités sont largement similaires à celles qui sont employées dans d'autres pays et d'autres régions et il n'entre pas dans le propos du présent manuel de dresser la liste de toutes les sources d'information nationales. Dans cet appendice, plusieurs exemples commentés utilisent des données provenant de l'EPA des États-Unis, mais les auteurs auraient pu en choisir d'autres. C'est aux responsables aéroportuaires chargés d'établir les inventaires d'émissions qu'il incombe d'utiliser les facteurs d'émission les plus appropriés.

2. GROUPES ÉLECTROGÈNES/SYSTÈMES DE CHAUFFAGE, CHAUDIÈRES ET GÉNÉRATEURS

2.1 Les émissions provenant de groupes électrogènes/systèmes de chauffage (chaudières, appareils de chauffage) et générateurs d'urgence sont en grande partie contenues dans l'échappement provenant de la combustion de carburants à base d'hydrocarbures. Elles incluent des émissions de CO, NO_x, HC, SO_x et PM₁₀. Chacun des divers carburants utilisés [charbon, mazout, carburant diesel, essence, gaz naturel et gaz naturel liquéfié (GPL)] a ses propres caractéristiques d'émission.

2.2 Pour les sources stationnaires existantes ayant des permis d'exploitation, on peut généralement trouver les types et quantités d'émissions de polluants atmosphériques dans les dossiers des instances de réglementation compétentes et/ou dans le permis d'exploitation lui-même. En l'absence d'un tel permis ou d'informations à l'appui, les émissions sont généralement basées sur la période (p. ex. CV-heures) d'utilisation réelle ou estimative du matériel (c.-à-d. taux d'activité), le type de carburant et toutes technologies applicables de contrôle ou de réduction des émissions. Pour des chaudières/appareils de chauffage nouveaux ou agrandis, les taux d'activité futurs pourront être basés sur l'accroissement dans l'aire terminale de l'aéroport dans les cas où des estimations brutes sont suffisantes pour l'analyse.

2.3 Des sources de données sur les taux d'émission couramment employées sont présentées dans le Tableau 3-A3-1 pour les chaudières/appareils de chauffage (par type de carburant et de polluant), et dans le Tableau 3-A3-2 pour les générateurs d'urgence.

**Tableau 3-A3-1. Sources de données sur les taux d'émission —
chaudières/appareils de chauffage**

Carburant	Source
Charbon, y compris l'antracite, le charbon bitumineux, bitumineux/subbitumineux et subitumineux	EPA, AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Ch. 1 <i>EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook</i> (2013 ou versions ultérieures), groupes 1.A.1 et 1.A.4
Mazout	EPA, AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Ch. 1 <i>EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook</i> (2013 ou versions ultérieures), groupes 1.A.1 et 1.A.4
GPL	EPA, AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Ch. 1 <i>EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook</i> (2013 ou versions ultérieures), groupes 1.A.1 et 1.A.4
Gaz naturel	EPA, AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Ch. 1 <i>EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook</i> (2013 ou versions ultérieures), groupes 1.A.1 et 1.A.4

**Tableau 3-A3-2. Sources de données sur les taux d'émission —
générateurs d'urgence**

Carburant	Méthodologie	Source
Carburant diesel	USAF (huile distillée)	EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapitre 3
Essence	USAF	EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapitre 3
Kérosène/naphte (carburant aviation)	USAF	EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapitre 3
GPL (propane ou butane)	USAF	EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapitre 3
Gaz naturel	USAF	EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapitre 3
Pétrole résiduaire/brut	USAF	EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapitre 3
Carburants divers	EEA	<i>EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook</i> (2013 ou versions ultérieures), groupe 1.A.4

2.4 À des fins de démonstration, des estimations d'émissions provenant de groupes électrogènes/installations de chauffage, chaudières et générateurs sont calculées à l'aide de l'équation générale suivante :

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100) \quad \text{Éq. 3-A3-1}$$

où :

E = émissions (p. ex. kilogrammes/jour) ;

A = taux d'activité (p. ex. CV-heure ou litres/jour) ;

EF = facteur d'émission (p. ex. kilogrammes/litre) spécifique au type de carburant et au polluant ;

ER = efficacité de réduction des émissions de l'équipement de contrôle (%).

2.5 Dans des cas où le carburant a une teneur en soufre importante, il se pourrait qu'une formule de recharge soit plus indiquée. L'exemple suivant, employant cette formule, est donné pour un générateur d'urgence d'aéroport. Supposons qu'un aéroport ait un générateur d'urgence à moteur diesel de 335 CV avec une efficacité de réduction des émissions de 75 %. Si le facteur d'émission pour NO_x est de 14,0 grammes/CV-heure et si l'aéroport fait fonctionner le générateur 1 000 heures par an, les émissions totales de NO_x seraient :

$$1\,000 \text{ heures} \times 14,0 \text{ grammes/CV-heure} \times 335 \text{ CV} \times (1 - 75/100) = \\ 1\,172\,500 \text{ grammes de NO}_x.$$

3. INCINÉRATEURS

3.1 Lorsqu'ils sont situés aux aéroports, les incinérateurs sont généralement utilisés pour détruire ou stériliser des rebuts et d'autres déchets réglementés qui sont produits et transportés à bord des aéronefs internationaux. Un aéroport peut avoir aussi des installations de préparation d'aliments qui utilisent des incinérateurs pour éliminer des déchets (papier, bois, plastique et autres rebuts).

3.2 Les incinérateurs de déchets combustibles ont divers types de fourneaux, en diverses configurations (en ligne, cuve-foyer, etc.) ; comprenant une ou plusieurs chambres de combustion, ils emploient généralement comme combustible le gaz naturel, le mazout ou le GPL. De l'équipement et des technologies de contrôle sont employés dans le processus d'incinération et au niveau de la cheminée pour aider à réduire les émissions excédentaires.

3.3 Pour les incinérateurs existants qui ont un permis d'exploitation, des estimations des émissions de polluants atmosphériques peuvent être obtenues dans les dossiers de l'instance de réglementation compétente et/ou dans ce permis lui-même. En l'absence de permis, les estimations d'émissions sont souvent basées sur le type de carburant, la quantité de rebuts incinérés et leur teneur, et les facteurs d'émission appropriés pour le carburant, les rebuts et la conception de la chambre de combustion. Pour les installations neuves ou agrandies, les quantités prévues de rebuts incinérés peuvent être basées sur les prévisions de progression du nombre de vols internationaux et/ou de fournisseurs de services alimentaires, le cas échéant.

3.4 Le Tableau 3-A3-3 donne des sources couramment employées de données sur le taux d'émission pour les incinérateurs de déchets combustibles.

Tableau 3-A3-3. Sources de données sur le taux d'émission — incinérateurs de déchets combustibles

<i>Nombre de chambres</i>	<i>Source</i>
Unique ou multiples	EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapitre 2 <i>EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook</i> (2013 ou versions ultérieures), groupe 5.

3.5 Aux fins de démonstration, des estimations d'émissions d'un incinérateur de déchets combustibles sont calculées à l'aide de l'équation suivante :

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100) \quad \text{Éq. 3-A3-2}$$

où :

E = émissions (p. ex. kilogrammes/an, grammes/jour) ;

A = quantité de rebuts incinérés (p. ex. tonnes métriques ou kilogrammes/jour) ;

EF = facteur d'émission (p. ex. kilogrammes ou grammes/tonne métrique) ;

ER = efficacité de réduction des émissions de l'équipement de contrôle (%).

3.6 L'exemple suivant, employant cette formule, est donné pour un incinérateur. Supposons qu'un aéroport ait un incinérateur à chambre unique avec une efficacité de réduction des émissions de 80 %. Si le facteur d'émission de CO est de 1,0 kilogramme/tonne métrique de déchets et si l'aéroport incinère 2 500 tonnes métriques de rebuts, les émissions de CO totales seront :

$$1,0 \text{ kilogramme} \times 2\,500 \text{ tonnes métriques} \times (1-80/100) = 500 \text{ kilogrammes de CO} \\ (\text{c.-à-d. } 0,5 \text{ tonne métrique}).$$

4. INSTALLATIONS DE MAINTENANCE DES AÉRONEFS/AÉROPORTS

4.1 Dans la plupart des grands aéroports-pivots, les installations de maintenance des aéronefs sont généralement exploitées par des entreprises de transport aérien commercial ou d'autres prestataires de services, qui procèdent à des inspections régulières des aéronefs et à des réparations sur le fuselage des aéronefs, les moteurs, etc. Diverses opérations de traitement, de revêtement et de peinture de surfaces peuvent aussi être effectuées. Aux petits aéroports, ces services de maintenance sont généralement offerts par des exploitants de base aérienne (FBO) privés.

4.2 Souvent, les aéroports comportent aussi diverses installations pour le personnel, les fournitures et les activités de maintenance du bâtiment et du terrain d'aviation. Les activités ou opérations qui génèrent des émissions associées à ces types d'installations comprennent la peinture de bâtiments, la matérialisation au sol des pistes/voies de circulation/aires de trafic, la réparation et le nettoyage de l'asphalte/du béton. Ces activités utilisant souvent des revêtements liquides, solvants à base de pétrole et autres substances qui s'évaporent, les premiers polluants préoccupants sont les composés organiques volatils (VOC).

4.3 Dans la plupart des cas, les émissions de ces sources résultent généralement de l'évaporation et/ou de la surpulvérisation des matériaux employés. Les volumes d'émissions sont rarement considérés significatifs.

4.4 Pour la plupart des produits et substances, des fiches signalétiques de sécurité de produit (MSDS) pourront être consultées pour obtenir la teneur des VOC en substance à l'état gazeux [généralement exprimée en livres (ou grammes) de VOC par gallon (ou litre) de la substance utilisée]. Le Tableau 3-A3-4 présente les différentes sources de données sur les taux d'émission pour les solvants de revêtement des surfaces et autres solvants.

Tableau 3-A3-4. Sources de données sur les taux d'émission — installations de maintenance des aéronefs/aéroports

Activité	Substance	Source
Revêtement de surface	Peinture (à base de solvant ou d'eau), émail, laque, apprêt, vernis/vernis à la gomme laque, diluant et adhésif	<ul style="list-style-type: none"> • <i>FAA Aviation Emissions and Air Quality Handbook</i>, 2014 • <i>EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook</i> (2013 ou versions ultérieures), groupe 2.D
Solvants de dégraissage	Acétone, alcool (éthylrique et méthylrique), tétrachlorure de carbone, chloroforme, éther, alcool isopropylique, chlorure de méthylène, perchlorethylène, solvant Stoddard, 1,1,1-trichloroéthane, trichloréthylène et essence de térébenthine	<ul style="list-style-type: none"> • <i>FAA Aviation Emissions and Air Quality Handbook</i>, 2014 • Occupational Safety and Health Administration (OSHA) https://www.osha.gov/ • <i>EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook</i> (2013 ou versions ultérieures), groupe 2.D

4.5 Aux fins de démonstration, on pourra obtenir des estimations des émissions de VOC de revêtements de surface au moyen de l'équation générale ci-après, qui prend en considération la quantité de revêtement utilisé, la teneur en VOC de la substance et, s'il y a lieu, un facteur d'efficacité de réduction des émissions pour le processus d'application :

$$E_{\text{VOC}} = Q \times \text{VOCC} \times \text{ER} \quad \text{Éq. 3-A3-3}$$

où :

E_{VOC} = émissions de VOC (p. ex. kilogrammes) ;

Q = quantité de matière de revêtement (p. ex. litres) ;

VOCC = teneur en VOC de la matière de revêtement (p. ex. grammes/litre) ;

ER = efficacité de réduction des émissions de l'équipement de contrôle (%).

4.6 L'exemple suivant, employant cette formule, est donné pour l'utilisation d'un solvant de nettoyage du métal. Si une installation de maintenance des avions utilise 2 500 litres d'apprêt dans une cabine de pulvérisation ayant une efficacité de réduction des émissions de 65 % et si la teneur en VOC de l'apprêt est de 3,2 kilogrammes par litre, la quantité de VOC émise sera :

$$2\,500 \text{ litres} \times 3,2 \text{ kilogrammes/litre} \times (1-65/100) = 2\,800 \text{ kilogrammes de VOC} \\ \text{(c.-à-d. 2,8 tonnes métriques).}$$

4.7 Un autre exemple porte sur l'évaporation d'un solvant directement dans l'atmosphère. Dans ce cas, il est supposé que l'élimination du solvant n'est pas totale. Comme le montre l'équation suivante, la différence entre la quantité de solvant utilisée et la quantité de solvant éliminée sera donc multipliée par la densité de la substance pour obtenir la quantité émise dans l'atmosphère :

$$E_{\text{VOC}} = (Q_C - Q_D) \times D \quad \text{Éq. 3-A3-4}$$

où :

E_{VOC} = émissions de VOC ;

Q_C = quantité de solvant consommée (p. ex. litres) ;

Q_D = quantité de solvant éliminée comme eaux usées (p. ex. litres) ;

D = densité du solvant (p. ex. kilogrammes/litre).

4.8 L'exemple suivant, employant cette formule, est donné pour un générateur d'urgence d'aéroport. Supposons qu'une installation de maintenance d'aéroport utilise 950 litres de térébenthine, en élimine 750 litres comme eaux usées et que la térébenthine ait une densité de 0,87 kilogrammes par litre. La quantité de VOC serait :

$$950 \text{ litres consommés} - 750 \text{ litres éliminés} = 200 \text{ litres}$$

$$200 \text{ litres} \times 0,87 \text{ kilogrammes/litre} = 174 \text{ kilogrammes de VOC (c.-à-d. 0,174 tonnes métriques).}$$

5. DÉPÔTS DE CARBURANT, OLÉORÉSEAUX ET STATIONS SERVICE

5.1 Les installations de stockage et de transfert de carburant aux aéroports peuvent contenir des carburants divers, les types prédominants étant le carburant aviation (Jet-A, jet kérosène, JP-4), l'essence aviation (avgas) et les carburants pour véhicules motorisés (essence et diesel). Ces installations et ces opérations de transfert sont une source potentielle d'hydrocarbures volatils (p. ex. VOC).

5.2 Les dépôts de carburant peuvent émettre des VOC provenant d'activités « *standing* » (au repos) (stockage) ou « *working* » (au travail) (prélèvement et/ou ravitaillement). Des variables importantes qui ont un effet sur les quantités d'émissions dégagées sont la pression vapeur du carburant, les volumes de stockage et de débit, les types de réservoirs (au-dessus du sol, toit flottant, etc.) et les conditions climatiques (température et humidité). Il est à noter que les pressions vapeur du carburant et du diesel aviation sont si basses que la plupart des organismes environnementaux n'exigent aucun contrôle de ces émissions.

5.3 Le Tableau 3-A3-5 présente une source couramment utilisée de données sur les taux d'émission pour dépôts de carburant.

**Tableau 3-A3-5. Sources de données sur les taux d'émission —
dépôts de carburant**

Type de réservoir	Carburant	Source
Horizontal, vertical toit fixe, interne toit flottant, externe toit flottant, externe en dôme toit flottant	Jet naphta (JP-4), kérosène jet, essence, mazout léger n° 2, mazout lourd n° 6	EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapter 7: Liquid Storage Tanks; <i>EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook</i> (2013 ou versions ultérieures), groupe 1.B.2

5.4 À des fins de démonstration, les estimations d'émissions de VOC provenant des cuves de stockage de carburant peuvent être obtenues au moyen de l'équation générale prenant en considération les pertes tant « *standing* » que « *working* ».

$$E_{\text{VOC}} = \text{SL} + \text{WL} = (\text{QS} \times \text{EF}) + (\text{QT} + \text{EF})$$

Éq. 3-A3-5

où :

E_{VOC} = émissions de VOC (p. ex. kilogrammes) ;

SL = perte « *standing* » ;

WL = perte « *working* » ;

QS = quantité de carburant stocké (p. ex. kilolitres) ;

QT = quantité de carburant distribué (p. ex. kilolitres) ;

EF = facteur d'émission pour un type de carburant (p. ex. kilogrammes/kilolitre).

5.5 L'exemple suivant, utilisant cette formule, est donné pour le stockage et le transfert de carburant aviation dans un réservoir au-dessus du sol. Si l'installation stocke 1 500 kilolitres de carburant (avec une perte « *standing* » de 200 grammes de VOC/kilolitre/jour) et dispense 90 kilolitres de carburant par jour (avec une perte « *working* » de 100 grammes de VOC/kilolitre/jour), la quantité estimée de VOC émis serait :

$$(1\,500 \text{ kilolitres} \times 200 \text{ grammes/kilolitre}) + (90 \text{ kilolitres} \times 100 \text{ grammes/kilolitre}) \\ = 309 \text{ kilogrammes de VOC (c.-à-d. 0,31 tonne métrique).}$$

6. FORMATION À LA LUTTE CONTRE L'INCENDIE

6.1 À certains aéroports, le personnel de sauvetage et lutte contre l'incendie à l'aéroport (ARFF) procède à des exercices d'intervention d'urgence en utilisant des simulateurs d'incendie réel (*live-fire*). Alimentés en carburant aviation ou diesel, ces engins peuvent, lorsqu'ils sont utilisés, être source de fumée noire dense, de PM et de VOC. Il existe maintenant aussi des carburants « basse fumée », considérés plus acceptables que le propane dans une perspective écologique.

6.2 La quantité de carburant employée pour les exercices ARFF « *live-fire* » varie avec la fréquence d'usage, les types de feux créés et le type de carburant.

6.3 Le manuel *Aviation Emissions and Air Quality Handbook* de la FAA, la source de renseignements qui fait le plus autorité en ce qui concerne les activités d'exercice de lutte contre l'incendie, n'est pas inclus dans les publications EMEP/EEA. Le Tableau 3-A3-6 présente les sources de données sur les taux d'émission pour les carburants le plus couramment utilisés dans les activités d'exercice de lutte contre l'incendie.

Tableau 3-A3-6. Sources de données sur le taux d'émission — exercices de lutte contre l'incendie

Type de carburant	Source
JP-4, JP-8, propane	FAA <i>Aviation Emissions and Air Quality Handbook</i> , 2014
JP-5, tekflame	FAA <i>Aviation Emissions and Air Quality Handbook</i> , 2014

6.4 Les estimations des émissions de polluants atmosphériques provenant d'exercices d'entraînement *live-fire* sont basées sur le type de carburant, la quantité de carburant brûlé et les taux d'émission par polluant. Ces émissions peuvent être calculées à l'aide de l'équation suivante :

$$E_{\text{VOC}} = QF \times EF \quad \text{Éq. 3-A3-6}$$

où :

E_{VOC} = émissions de VOC ;

QF = quantité de carburant (p. ex. en kilolitres) ;

EF = facteur d'émission (p. ex. grammes/kilolitre de carburant).

6.5 L'exemple suivant, employant cette formule, est donné pour un dispositif d'exercice ARFF *live-fire*. Supposons qu'un aéroport procède une fois par mois à un exercice *live-fire* et que 3 kilolitres de propane soient utilisés chaque fois (c.-à-d. 36 kilolitres par an). En supposant un facteur d'émission de PM pour le propane de 18 kilogrammes/kilolitre de carburant, la quantité de PM émise serait :

$$36 \text{ kilolitres} \times 18 \text{ kilogrammes/kilolitre} = 648 \text{ kilogrammes de PM (c.-à-d. 0,65 tonnes métriques).}$$

7. ACTIVITÉS DE DÉGIVRAGE/ANTIGIVRAGE

7.1 Les opérations de dégivrage pour les surfaces aéroportuaires peuvent être source de VOC et d'autres composés. L'application mécanique d'agents de dégivrage et d'antigivrage, constitués soit de propylène glycol soit d'éthylène glycol et d'eau, entraîne une certaine perte dans l'atmosphère due à l'évaporation et à la surpulsification. Sur les pistes, voies de circulation et aires de trafic, on utilise de l'urée, de l'acétate de potassium ou des solutions d'éthylène glycol, d'urée et d'eau. Cependant, en raison des préoccupations grandissantes concernant les effets des produits chimiques de dégivrage sur la qualité de l'eau, on emploie maintenant couramment des processus de conservation et de récupération qui réduisent aussi les incidences possibles sur la qualité de l'air.

7.2 Les émissions de VOC provenant d'activités de dégivrage/antigivrage sont généralement basées sur la quantité de fluide de dégivrage utilisé, le pourcentage de produit chimique de dégivrage (éthylène-glycol) dans le mélange et un facteur d'émission. Les sources de données sur le taux d'émission de VOC pour les activités de dégivrage/antigivrage pour les aéronefs et pour les pistes, voies de circulation, etc. sont présentées dans le Tableau 3-A3-7. Un exemple de calcul pour le dégivrage des aéronefs figure dans l'Appendice 2, section 5, et le calcul pour les surfaces du terrain d'aviation est effectué de la même manière.

Tableau 3-A3-7. Sources de données sur les taux d'émission — activités de dégivrage/antigivrage

Substance	Source
Propylène glycol/éthylène glycol	FAA <i>Aviation Emissions and Air Quality Handbook</i> , 2014

8. ACTIVITÉS DE CONSTRUCTION

8.1 Les activités de construction qui génèrent des émissions de polluants atmosphériques incluent le défrichage et la démolition (émissions de poussière), l'emploi de matériel et de véhicules pour la construction (émissions d'échappement), le stockage de matières premières (émissions par érosion éolienne) et le pavage (émissions par évaporation). Les véhicules ayant rapport avec la construction comprennent des véhicules qui restent sur le site de construction (p. ex. véhicules hors route ou non routiers) et des véhicules qui circulent hors-site (p. ex. tracteurs et camions à benne basculante). Des émissions de polluants proviennent aussi des trajets de travailleurs qui font la navette à destination/en provenance du site de construction.

8.2 Le Tableau 3-A3-8 présente des sources de données des États-Unis sur les taux d'émission pour activités de construction.

**Tableau 3-A3-8. Sources de données sur les taux d'émission —
activités de construction**

Activité/type de véhicule	Source
Défrichage/démolition	EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1, Chapitre 13 : Miscellaneous Sources
Matériel/véhicules de construction (hors route)	EPA NONROAD model
Véhicules de construction (sur route)	EPA MOBILE model
Tas de stockage de matériel (<i>standing</i> et <i>working</i>)	EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1, Chapitre 13 : Miscellaneous Sources
Asphaltage	EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1, Chapitre 4 : Evaporation Loss Sources
Installations de mélange	EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1, Chapitre 11 : Mineral Products Industry
Poste de béton	EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1, Chapitre 11 : Mineral Products Industry
Brûlage en plein air	EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1, Chapitre 2 : Solid Waste Disposal
Circulation de véhicules sur routes non revêtues	EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1, Chapitre 13 : Miscellaneous Sources

8.3 Pour l'Europe, on trouvera des facteurs d'émission pour ces activités dans le *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (2013 ou versions ultérieures), groupes 1.A.3, 1.A.4, 2.D, 5.A, 5.C.

8.4 À des fins de démonstration, on pourra obtenir des estimations des émissions de PM provenant du fonctionnement d'un tas de stockage en employant l'équation générale ci-dessous, qui tient compte du débit (quantité de matériau utilisée sur une certaine période et nombre de variations de niveau qu'il subit (une fois lors du chargement, une fois lors du déchargement)). Il est à noter que les facteurs d'émission pour divers matériaux varient selon le type, la taille des particules, la teneur en silt et la teneur en humidité du matériau.

$$E_{PM} = 2 \times TH \times EF$$

Éq. 3-A3-7

où :

E_{PM} = émissions de PM (p. ex. kilogrammes) ;

2 = nombre de variations de niveau que subit le matériau ;

TH = débit total ;

EF = facteur d'émission (p. ex. grammes).

8.5 L'exemple suivant, employant cette formule, est donné pour des opérations de construction à un aéroport. Supposons qu'une opération de construction implique le déplacement de 100 tonnes métriques de calcaire. Étant donné une teneur en humidité d'environ 0,2 %, une dimension aérodynamique des particules de 0,45 micromètres et une vitesse du vent moyenne de 20 km/h, la quantité de PM générée serait la suivante, sur la base d'un facteur d'émission de 54 grammes/tonne métrique :

$$2 \times 100 \text{ tonnes métriques} \times 54 \text{ grammes/tonne métrique} = 10\,800 \text{ grammes (0,01 tonne métrique).}$$

8.6 Un autre exemple commun d'émissions liées à la construction implique l'utilisation d'un véhicule hors route. L'équation utilisée pour obtenir des estimations de polluants provenant de ce type d'activité de construction prend en considération le type d'équipement (p. ex. bulldozer, camion articulé), sa taille (HP), le facteur de charge sur l'équipement (rapport de la charge à la charge de pointe sur une certaine période) et la période (heures) de fonctionnement.

8.7 À des fins de démonstration, des estimations des émissions d'échappement provenant des véhicules et du matériel de construction peuvent être tirées de la formule suivante :

$$E = H \times EF \times LF \times T \quad \text{Éq. 3-A3-8}$$

où :

E = émissions (p. ex. grammes/jour) ;

H = puissance de l'équipement en CV ;

EF = facteur d'émission (p. ex. grammes/CV-heure) ;

LF = facteur de charge (pour cent) ;

T = période totale de fonctionnement (heures).

8.8 L'exemple suivant, employant cette formule, est donné pour l'utilisation d'un bulldozer. Supposons qu'un entrepreneur travaillant pour l'aéroport utilise un bulldozer de 400 CV pendant 3 heures par jour, 15 jours par mois, pendant une période d'un an et que le facteur de charge moyen pour l'équipement est de 59 %. Si le facteur d'émission pour le bulldozer était de 9,6 grammes par CV-heure, la quantité de NO_x serait :

$$400 \text{ hp} \times 9,6 \text{ grammes/CV-h} \times 0,59 \times 540 \text{ heures} = 1\,223\,424 \text{ grammes (1,2 tonne métrique).}$$

Appendice 4 au Chapitre 3

ÉMISSIONS DU TRAFIC DE VÉHICULES

1. INTRODUCTION

1.1 Les émissions des transports de surface liées aux aéroports peuvent constituer une part importante des émissions totales associées aux activités aéroportuaires. Les éléments d'orientation donnés dans cet appendice sont focalisés sur des approches et des méthodes de préparation d'un inventaire d'émissions provenant de véhicules motorisés « routiers », côté ville et côté piste. Ils portent aussi sur les données et autres informations nécessaires à l'appui de ces estimations. Les aéroports pourraient devoir inclure dans l'inventaire d'autres systèmes de transport de surface dont les émissions sont attribuables aux opérations aéroportuaires (p. ex. trains diesel sur une liaison aéroportuaire par rail).

1.2 Les véhicules routiers côté ville comprennent les taxis, minibus, bus et voitures particulières, véhicules utilitaires légers ou lourds et les motocyclettes et scooters qui circulent sur le réseau routier interne de l'aéroport et dans les installations de stationnement de l'aéroport. Les véhicules routiers côté piste sont ceux qui circulent principalement en zone sécurisée de l'aéroport (c'est-à-dire la zone d'arrivée et de départ des aéronefs). Ils peuvent comprendre les bus pour le personnel et les passagers des compagnies aériennes, véhicules utilitaires pour les aéronefs/l'aéroport et autres véhicules pour lesquels des estimations des émissions sont calculées de la même façon que pour les véhicules côté ville (c.-à-d. véhicules conçus à partir du châssis utilisés sur les voies publiques et conduite côté piste semblable à la conduite sur la voie publique). Des approches pour l'estimation des émissions du matériel de servitude au sol (GSE) sont discutées à l'Appendice 2.

1.3 Les sections qui suivent traiteront de trois approches pour le calcul des émissions des véhicules motorisés — simple, avancée et sophistiquée — exigeant des niveaux de plus en plus complets de données d'entrée et de complexité des calculs.

1.4 Les trois approches sont basées sur la méthode « vitesse moyenne du véhicule », couramment employée pour les calculs d'émissions du trafic routier pour des inventaires aux échelles méso (district) et macro (ville ou région), auxquels les émissions aéroportuaires devront être intégrées et comparées. Il est reconnu que les modèles de vitesse moyenne peuvent avoir des limitations à faibles vitesses du véhicule du fait de variations de vitesses transitoires. Les sorties de ces modèles sont influencées aussi par la disponibilité de données à l'appui provenant de sources extérieures.

2. PARAMÈTRES

2.1 En fonction de l'approche (simple, avancée ou sophistiquée), certains des paramètres discutés ci-après, ou tous ces paramètres, seront nécessaires à différents niveaux de détail pour préparer une estimation des émissions du trafic de véhicules.

2.2 Bien que l'objet des présentes orientations soit la préparation d'un inventaire d'émissions, le lecteur devrait noter que, en fin de compte, une étude de qualité de l'air utilisant une modélisation de la dispersion pourrait être nécessaire aussi. Dans ce contexte, les modèles de qualité de l'air comprennent souvent des modèles de trafic routier ne contenant que certains des paramètres d'entrée nécessaires, de sorte que les analystes devront estimer par d'autres moyens les paramètres manquants.

2.3 Il est clair que certains paramètres auront plus d'effet que d'autres sur les résultats. À cette fin, la notion de classement des paramètres pourra être employée pour établir l'importance relative de chacun d'eux. Le système de classement pourra servir à prioriser la collecte de données d'entrée pour l'inventaire.

2.4 On trouvera ci-dessous un exemple de système de classement basé sur l'expérience à l'aéroport de Londres Heathrow¹. La liste montre, par ordre d'importance, les paramètres qui sont considérés comme influençant les résultats de l'inventaire. Le classement de base est résumé dans la liste ci-dessous, par ordre d'importance.

- a) Rang 1 — étendue du réseau routier ;
- b) Rang 2 — flux de trafic (périodes modélisées — profils) ;
- c) Rang 3 — flotte de véhicules et composition ;
- d) Rang 4 — vitesses du trafic routier ;
- e) Rang 5 — files d'attente de trafic routier ;
- f) Rang 6 — extrémité de parcours ;
- g) Rang 7 — autres paramètres de trafic.

Certaines des questions qui se posent pour chaque rang sont également discutées dans les sections suivantes.

Portée géographique — étendue du réseau routier

2.5 La portée géographique définit le réseau de routes et les types d'axes routiers inclus dans un inventaire d'émissions du trafic de véhicules. La portée géographique est également employée, conjointement avec l'approche choisie, pour identifier le type de données d'entrée nécessaires pour l'inventaire.

2.6 La portée géographique peut être limitée aux voies d'accès et parcs de stationnements à l'intérieur de la clôture de la propriété aéroportuaire (côté piste et côté ville) ou, dans certains cas, être élargie pour inclure les voies publiques et parcs de stationnement qui « alimentent » un aéroport et comportent une part importante de trafic lié à l'aéroport. Le choix de la portée géographique pour un projet dépend de l'objet de l'étude, du type de données d'entrée disponibles et de l'approche qui aura été choisie :

- a) L'approche simple, qui groupe toutes les routes pour donner un inventaire global basé sur la « distance totale parcourue » [ou les milles-véhicule parcourus (VMT)], avec de larges hypothèses concernant la composition, l'âge et la vitesse de la flotte de véhicules. L'approche simple peut être limitée au périmètre de l'aéroport, sans lien avec les émissions régionales des véhicules.
- b) L'approche avancée, qui décompose les résultats en routes considérées individuellement, selon le niveau de détail des données d'entrée. Chaque segment de route exigera des volumes de trafic moyens ou la vitesse type des véhicules.

1. Department for Transport (Royaume-Uni), *Project for the Sustainable Development of Heathrow: Air Quality Technical Report*, 19 juillet 2006.

- c) L'approche sophistiquée, qui saisit autant de détails que possible concernant le réseau routier de l'étude, avec suffisamment de détails pour donner un inventaire qui sera hautement sensible aux changements dans l'infrastructure et l'utilisation. Le réseau routier devrait, par exemple, être divisé pour donner des portions à gradient constant afin de permettre la compensation des émissions en montée et en descente.

2.7 Les approches avancée et sophistiquée peuvent inclure du trafic hors-aéroport, directement lié aux activités aéroportuaires mais se situant hors site. Quelle que soit l'approche employée, afin d'éviter un double comptage des émissions des véhicules, l'analyse ne devra pas inclure les véhicules circulant aux abords de l'aéroport qui sont inventoriés par d'autres parties (tels les véhicules de trafic de transit non lié à l'aéroport sur des routes voisines). Ces émissions de véhicules non aéroportuaires pourraient aussi être pertinentes pour l'évaluation de la qualité de l'air au voisinage de l'aéroport, en fonction du but de l'étude et/ou des exigences réglementaires des instances nationales, régionales ou locales.

Portée temporelle — flux de circulation

2.8 La portée temporelle définit la période de calcul des moyennes au cours de laquelle un inventaire d'émissions du trafic de véhicules sera calculé (p. ex. une heure, une journée, une saison, une année). Par convention, des périodes d'une année civile sont choisies, étant donné, parmi d'autres raisons, que cela simplifie l'alignement avec les données d'IE et les bases de données nationales sur les véhicules.

- a) Pour l'approche simple, il suffit de calculer les quantités annuelles totales d'émissions de chaque polluant, sur la base des volumes de trafic annuels, des distances parcourues, des vitesses de circulation moyennes et de la composition (*mix*) de la flotte représentative.
- b) Pour l'approche avancée, la résolution temporelle devrait permettre des estimations ou des mesures des variations quotidiennes et/ou horaires dans les conditions de trafic (p. ex. périodes de pointe du matin et du soir) et dans la composition de la flotte (voir flotte de véhicules et composition).
- c) Pour l'approche sophistiquée, la résolution temporelle devrait employer des profils dépendant de la durée pour donner une composition horaire de la flotte sur toutes les routes de l'étude qui sont considérées apporter des contributions significatives à l'inventaire.

Flotte de véhicules et composition

2.9 Comme indiqué plus haut, les catégories de véhicules à moteur généralement inclus dans un inventaire d'émissions liées aux aéroports comprennent les automobiles et fourgonnettes de tourisme, camionnettes et véhicules lourds, autobus, taxis et autres véhicules motorisés. Des inventaires séparés pourront être établis pour les véhicules côté ville et côté piste. Les émissions des véhicules côté ville pourront encore être classés en catégories, de façon à séparer les émissions par type de route ou d'installation (voies d'accès, parcs de stationnement, aéroports passagers, linéaires d'accostage, etc.) Généralement, chaque type de véhicule peut être défini par une des quatre catégories suivantes :

- a) automobiles ;
- b) autres véhicules légers (p. ex. taxis, fourgonnettes, limousines) ;
- c) véhicules lourds (incluant les autobus urbains et autocars) ;
- d) deux roues (scooters et motocyclettes).

2.10 Dans chacune de ces catégories, il y a une large diversité de types et d'âge des véhicules, de types de carburant et de caractéristiques opérationnelles. Elles seront donc souvent réparties en sous-catégories, selon la taille et le type des véhicules, le niveau de contrôle des émissions, le type de carburant et les buts opérationnels.

2.11 De même, les bus et autocars urbains peuvent être classés dans une catégorie distincte si l'on dispose de données appropriées concernant les émissions et les facteurs de charge opérationnels. Comme on l'a déjà vu, il faut porter soigneusement attention aux véhicules côté piste pour éviter un double comptage de trafic associé à des véhicules côté piste et à certains matériels de servitude au sol (GSE).

2.12 Les options pour obtenir les données sur la composition de la flotte de véhicules peuvent être résumées comme suit :

- a) Dans l'approche simple, les données sur les véhicules sont tirées de bases de données existantes sur la composition/l'âge moyen de la flotte nationale de véhicules. Dans l'approche avancée, ces données peuvent être tirées aussi d'archives nationales, mais la composition/l'âge de la flotte reflètent généralement celle qui circule à l'aéroport. Il est à noter que dans l'approche avancée la composition de la flotte de véhicules peut aussi être définie en utilisant des profils dépendant du moment pour différents segments de routes (p. ex. pour tenir compte des augmentations du nombre de voitures privées et d'autobus matin et soir à l'arrivée et au départ du personnel de l'aéroport).
- b) L'approche sophistiquée peut employer des techniques pour mesurer le type et l'âge réels des véhicules — soit comme données sources pour l'étude, soit pour valider des données nationales. Il peut être intéressant d'utiliser des données mesurées dans le contexte aéroportuaire car les données nationales ne représenteraient peut-être pas l'âge typique des véhicules utilisant les routes englobées dans l'étude. Un exemple de cette technique utilise des enregistrements vidéo de plaques de licence des véhicules en corrélation avec les dossiers de licence pour donner le type exact de véhicule/moteur, le type de carburant et l'âge. La classification du trafic de véhicules devrait être faite selon qu'il concerne les passagers, le personnel d'aéroport, l'entretien, la construction ou le fret.

Vitesse moyenne et files d'attente

2.13 Comme on l'a vu, les différentes approches de calcul des émissions des véhicules que décrivent les présentes orientations reposent sur la vitesse moyenne comme entrée pour l'analyse. Les files d'attente sont un cas spécial caractérisé par de très faibles vitesses moyennes et peuvent inclure des émissions d'évaporation pendant le ralenti. Ces deux conditions sont traitées comme suit :

- a) L'approche simple peut utiliser une vitesse moyenne globale. Les émissions en file d'attente peuvent être factorisées comme un coefficient du trafic total.
- b) L'approche avancée exige une estimation de la vitesse moyenne pour chaque segment de route, couplée avec des profils de temps dans la file d'attente pour les principaux segments où interviennent des retards.
- c) L'approche sophistiquée peut ajouter des données mesurées aux données utilisées pour l'approche avancée. Cependant, les segments de routes devraient être définis de façon plus poussée pour donner la vitesse spécifique à un segment. Pour chaque segment, la vitesse moyenne de chaque catégorie de véhicules pourra être définie. Les temps en file d'attente devraient être attribués à des segments distincts.

Paramètres d'extrémité de parcours et autres paramètres de trafic

2.14 Les émissions d'extrémité de parcours sont les émissions associées au « démarrage à froid » se produisant au début d'un parcours, les émissions similaires « *hot soak* » (pendant l'arrêt du véhicule « moteur chaud ») qui se produisent à la fin d'un parcours, une fois le moteur arrêté, et les émissions par évaporation (surtout de VOC) provenant du système d'alimentation en carburant pendant l'utilisation et lorsque le véhicule est stationnaire. Ces émissions des véhicules sont prises en compte comme émissions additionnelles et s'appliquent principalement aux parcs de stationnement et aux linéaires d'accostage à l'extérieur des terminaux aéroportuaires.

Autres émissions des véhicules

2.15 Les autres émissions des véhicules incluent des émissions de particules autres que celles des moteurs (c.-à-d. PM_{10}) provenant des véhicules routiers, qui se produisent du fait de l'application de systèmes de freinage et de l'usure des pneus, de l'usure de la surface des routes et de la remise en suspension de particules déposées précédemment. La distribution spatiale de ces sources fugitives d'émissions sera relativement constante et en cohérence avec l'agencement du réseau routier. Il y aura cependant des accroissements là où le trafic avec arrêt et redémarrage est le plus intensif, par exemple de part et d'autre des lignes d'arrêt aux jonctions de routes et aux virages. Des variations temporelles se produiront sur une base journalière ou saisonnière car les caractéristiques de route et de conduite varient selon la densité du trafic et les conditions de route.

2.16 L'approche simple ne tient pas compte des émissions fugitives.

2.17 L'approche avancée peut inclure des valeurs pour des zones de trafic dense, des jonctions importantes et des sites de construction. Le réseau routier devrait être divisé pour l'attribution à chaque segment d'une valeur par défaut.

2.18 L'approche sophistiquée, qui inclut les émissions de fin de parcours et les émissions autres que celles des moteurs sur une base de segments de route, décompose les données pour montrer des inventaires séparés pour les véhicules du personnel et des passagers.

3. FACTEURS D'ÉMISSION DES VÉHICULES

3.1 Pour les véhicules routiers, les facteurs d'émission représentent les quantités d'unités d'un polluant émis lorsqu'un véhicule parcourt une longueur de route (quantités généralement exprimées en grammes ou milligrammes par kilomètre) et/ou lorsqu'un véhicule est au ralenti avec moteur en fonctionnement pendant une certaine durée (quantités généralement exprimées en grammes ou milligrammes par minute).

3.2 Des facteurs d'émission du trafic sont tirés de modèles informatiques et de bases de données expressément conçues pour générer de tels facteurs. Ces ressources donnent des facteurs d'émissions des véhicules qui varient en fonction de la température ambiante, de la vitesse de circulation, du mode de fonctionnement du véhicule (p. ex. ralenti, croisière, décélération, accélération, démarrage à froid, démarrage à chaud et stabilisation), du type/de la volatilité du carburant, de la technologie du véhicule, de son âge, de son état d'inspection/entretien et du taux d'accumulation du kilométrage (km/an).

3.3 En général, pour les modèles de vitesse moyenne, des facteurs d'émission sont utilisés pour calculer un facteur d'émission global pour un segment de route (g/km) pour chaque classe de véhicules utilisant la route et pour une vitesse moyenne. Dans le cas des parcs de stationnement, des facteurs d'émission exprimés en g/événement, comme lors du démarrage du moteur, sont également utilisés. Dans une approche sophistiquée, les facteurs d'émission peuvent varier selon le moment de la journée/semaine sur la base des facteurs climatologiques locaux.

- 3.4 Pour les véhicules liés à l'aéroport, les facteurs d'émission peuvent être obtenus aux sources suivantes :
- a) United States EPA MOVES ;
 - b) EMFAC2011 de Californie ;
 - c) méthode CITEPA² basée sur COPERT 4 ;
 - d) méthode ALAQS d'EUROCONTROL basée sur COPERT 4 ;
 - e) méthode LASPORT basée sur le Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA).

4. VARIATIONS DES FACTEURS D'ÉMISSION SELON LE MODÈLE

4.1 Les modèles d'émissions des véhicules cités au § 3.4 sont présentés comme sources des facteurs d'émission des véhicules routiers actuels et futurs, mais ils ont été conçus initialement dans le but de surveiller l'effet de la législation sur la qualité de l'air nationale et/ou locale (MOVES, CITEPA). Ces modèles estiment un certain nombre de polluants d'échappement, notamment CO, HC, NO_x, PM (dans certains cas aussi le nombre de particules), SO_x, certains HAP et le CO₂. Les émissions par évaporation provenant du carburant et les émissions de PM provenant de l'usure des freins et des pneus sont données aussi dans certains cas.

4.2 Les polluants pertinents pour les émissions des véhicules routiers sont divisés en deux groupes : réglementés et non réglementés. Les Tableaux 3-A4-1 et 3-A4-2 montrent les espèces de polluants qui sont généralement modélisées. Lors du choix d'un modèle, il importe de noter que certains modèles d'émissions des véhicules rendront compte des polluants différemment ; ainsi, certains pourraient donner une ventilation entre hydrocarbures et polluants volatils, tandis que d'autres pourraient les grouper comme un seul polluant. Parmi d'autres polluants qui ne sont pas inclus, il pourrait être nécessaire de calculer le plomb si du carburant au plomb est encore utilisé et si un facteur d'émission du carburant au plomb est connu.

4.3 Le Tableau 3-A4-1 indique les polluants visés par une législation sur la qualité de l'air dans un ou plusieurs États.

4.4 Certains modèles peuvent rendre compte d'un ensemble étendu de polluants si les indices appropriés sont connus, comme le montre le Tableau 3-A4-2.

5. CALCULS

5.1 Les trois approches (simple, avancée et sophistiquée) sont discutées dans la présente section et des formules utilisables pour obtenir des estimations des émissions totales provenant des véhicules qui circulent sur les axes routiers, parcs de stationnement et linéaires de trottoir liés aux aéroports sont présentées.

5.2 Il existe de nombreuses méthodes différentes de calcul des émissions des véhicules, mais les trois approches considérées dans ces orientations sont basées sur la méthode de la vitesse moyenne des véhicules car c'est la plus appropriée dans le contexte aéroportuaire. Cependant, le choix final de la méthode de calcul dépendra de la portée de l'inventaire et des données d'entrée disponibles.

2. Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA), France.

**Tableau 3-A4-1. Ensemble de polluants de base —
visés par la législation**

Polluant	Observations
CO	
HC	Certains modèles peuvent donner des résultats par polluant composant – voir ci-dessous ensemble étendu de polluants.
NO _x (NO ₂ + NO)	Certains modèles peuvent rendre compte séparément de NO ₂ et de NO.
SO _x	
PM ₁₀	
PM _{2,5}	Peut être inclus dans le rapport pour PM ₁₀ .

**Tableau 3-A4-2. Ensemble étendu de polluants —
non visés par la législation**

Polluant	Observations
1,3-butadiène	
Acétaldéhyde	
Acroléine	
Benzène	
CO ₂	La plupart des modèles calculeront la consommation de carburant (à partir de laquelle le CO ₂ pourra être calculé), mais le CO ₂ , parce qu'il n'est pas un gaz QAL, est inclus dans l'ensemble étendu.
CH ₄	
Cu	
CHCO	
HCB	Peut être inclus dans HC.
N ₂ O	
NH ₃	
MTBE	
PAH : BaP, BbF, BkF, IndPy	Peut être inclus dans HC.
PCDD-F	Peut être inclus dans HC.
TSP	

5.3 La sélection d'une approche pour le calcul dépend du but de l'analyse et de la complexité des données d'entrée disponibles pour l'étude.

- a) **Simple.** Convient pour ce qui peut être appelé une approche descendante (*top-down*). L'approche simple groupe les émissions totales du nombre total de kilomètres-véhicule parcourus sur la longueur totale de toutes les routes dans une zone d'étude définie en utilisant une composition publiée de la flotte de véhicules nationale, une année de référence et un kilométrage moyen annuel par classe de véhicules.
- b) **Avancée.** En utilisant l'approche avancée, les segments de route sont définis individuellement par la longueur, la vitesse moyenne et la composition de la flotte de véhicules. Les profils d'activité pourront être utilisés pour décrire le flux diurne (variation dans le temps) du trafic sur chaque segment de route.
- c) **Sophistiquée.** L'approche sophistiquée est celle qui exige le plus de données (approche ascendante). Les émissions, groupées par segment de route et par heure, sont calculées indépendamment pour le nombre réel de véhicules (mesuré) de chaque type circulant sur le segment de route, avec l'âge et les détails des moteurs. Tous les détails du réseau de routes, y compris les gradients et la surface de la route, pourront être inclus. Les émissions provenant du trafic sur chaque segment de route pourront alors être groupées pour chaque période d'intérêt (une heure, une semaine, un an).

Approche simple

5.4 Aux fins de démonstration, des estimations des émissions utilisant l'approche simple pourront être calculées en utilisant l'équation générale suivante :

$$E = RL \times NV \times EF$$

Éq. 3-A4-1

où :

E = émissions (p. ex. grammes) ;

RL = longueur de route (p. ex. kilomètres) ;

NV = nombre de véhicules sur la route par classe, âge et vitesse ;

EF = facteur d'émission prenant en considération la classe, l'âge et la vitesse des véhicules (p. ex. grammes/kilomètre-véhicule parcouru).

5.5 L'exemple suivant, utilisant cette formule, calcule le niveau d'émissions selon l'approche simple. Supposons une route de 5 kilomètres de longueur. Sur une période de 24 heures, 100 000 véhicules traversent la chaussée à une vitesse moyenne de 35 kilomètres par heure. La flotte de véhicules se compose de 80 % d'automobiles, 10 % de véhicules utilitaires légers, 5 % de véhicules lourds et 5 % de deux roues. De plus, pour la période d'intérêt (p. ex. 24 heures) la température moyenne est de 21 degrés Celsius. En supposant que le facteur d'émission de CO soit de 30 grammes par kilomètre, les émissions totales de CO provenant de la chaussée sont calculées comme suit :

$$5 \text{ kilomètres} \times 100 \text{ 000 véhicules} \times 30 \text{ grammes par kilomètre} = 15 \text{ 000 000 grammes de CO} \\ \text{(c.-à-d. 15 tonnes métriques).}$$

Approche avancée

5.6 Aux fins de démonstration, les estimations d'émissions urbaines liées à la conduite automobile utilisant l'approche avancée peuvent être calculées en employant l'équation suivante :

$$E_{\text{total}} = (RL_1 \times NV_1 \times EF_1) + (RL_2 \times NV_2 \times EF_2) + (RL_n \times NV_n \times EF_n) \quad \text{Éq. 3-A4-2}$$

où :

E_{total} = émissions totales pour tous les segments de route (p. ex. grammes) ;

$RL_{1..n}$ = longueur de route (p. ex. kilomètres) ;

$NV_{1..n}$ = nombre de véhicules sur la route par classe, âge et vitesse ;

$F_{1..n}$ = facteur d'émission prenant en considération les classes, l'âge et la vitesse des véhicules (p. ex. grammes/kilomètres-véhicule parcourus).

5.7 En employant cette formule, l'exemple suivant calcule le niveau d'émissions selon l'approche avancée. On suppose qu'il y a deux segments de route dans une zone d'étude définie, l'un de 2,4 kilomètres de longueur et l'autre de 2,6 kilomètres de longueur. Sur une période de 24 heures, 60 000 véhicules parcourent le segment le plus court et 40 000 le segment le plus long. La vitesse de circulation moyenne sur l'une et l'autre route est de 35 km/heure.

5.8 Sur la route courte, le parc de véhicules se compose de 80 % d'automobiles, 10 % de véhicules légers, 5 % de véhicules lourds et 5 % de deux roues. Sur la route longue, il se compose de 75 % d'automobiles, 15 % de véhicules légers et 10 % de véhicules lourds. Pour la période considérée (24 heures), la température moyenne est de 21 degrés Celsius.

5.9 En supposant que le facteur d'émission de CO pour la route courte soit de 30 grammes par kilomètre et le facteur d'émission de CO pour la route longue de 35 grammes par kilomètre, les émissions de CO totales sont calculées comme suit :

$$(2,4 \text{ kilomètres} \times 60\,000 \text{ véhicules} \times 30 \text{ grammes par kilomètre}) + (2,6 \text{ kilomètres} \times 40\,000 \text{ véhicules} \times 35 \text{ grammes par kilomètre}) = 7\,960\,000 \text{ grammes de CO (c.-à-d. 7,96 tonnes métriques).}$$

Approche sophistiquée

5.10 La formule pour l'approche avancée serait également employée pour l'approche sophistiquée comme le démontre l'exemple suivant (la seule différence étant la quantité de données requises et leur portée).

5.11 Supposons que, pendant l'heure de pointe matinale d'une journée, 5 000 véhicules parcourent une route de 1,5 kilomètre de longueur. Pendant l'heure de pointe du soir, 7 000 véhicules parcourent la même route. Pour chacune des heures restantes de la journée, 25 % du trafic de l'heure de pointe matinale (1 250 véhicules) parcourent la route.

5.12 La vitesse de circulation moyenne sur la route est de 45 km/heure pendant l'heure de pointe matinale et de 30 km/heure pendant l'heure de pointe du soir. Tandis que le volume et la vitesse fluctuent, la composition du parc de véhicules reste constante pendant les jours de semaine avec 80 % d'automobiles, 10 % de véhicules utilitaires légers, 5 % de véhicules lourds et 5 % de deux roues. Les fins de semaine, les proportions changent, avec 80 % d'automobiles, 10 % de véhicules utilitaires légers, 8 % de véhicules lourds et 2 % de deux roues. Des 80 % d'automobiles des jours de semaine, 40 % amènent du personnel arrivant au travail et 60 % amènent des passagers.

5.13 La température moyenne est de 4 degrés Celsius pendant l'heure de pointe matinale et de 21 degrés Celsius pendant l'heure de pointe du soir. À toutes les autres heures de la journée, la température est de 10 degrés Celsius.

5.14 En supposant que le facteur d'émission de CO pondéré (tenant compte de la composition du parc ainsi que des types de véhicules, de leur âge et du carburant) pendant l'heure de pointe matinale soit de 30 grammes par kilomètre, de 20 grammes par kilomètre pendant l'heure de pointe du soir et de 20 grammes par kilomètre pour chacune des autres heures de la journée, les émissions de CO totales provenant des segments de route sont calculées comme suit :

$$(1,5 \text{ kilomètre} \times 5\,000 \text{ véhicules} \times 30 \text{ grammes par kilomètre}) + (1,5 \text{ kilomètre} \times 7\,000 \text{ véhicules} \times 20 \text{ grammes par kilomètre}) + (22 \text{ heures} \times (1,5 \text{ kilomètre} \times 1\,250 \text{ véhicules} \times 25 \text{ grammes par kilomètre})) \\ = 1\,466\,250 \text{ grammes de CO (c.-à-d. 1,47 tonnes métriques).}$$

5.15 L'exemple présenté ici ne considère qu'un seul segment de route. Ce calcul devrait être répété pour tous les segments de route en prenant en considération la composition du parc de véhicules, les vitesses, etc. Finalement, le facteur d'émission dans cet exemple est supposé constant pour chaque segment de route. L'emploi de l'approche sophistiquée suppose que les variations diurnes et saisonnières sont constantes.

Linéaires de trottoir et parcs de stationnement

5.16 À une exception près, les formules et approches discutées plus haut pour les routes peuvent être employées aussi pour estimer les émissions des véhicules au ralenti aux linéaires de trottoir ainsi qu'en circulation/au ralenti dans les parcs de stationnement aéroportuaires. Au lieu d'être basés sur la distance, les facteurs d'émission sont ici basés sur la durée ou l'événement et prennent en compte les démarrages à chaud ou à froid, les arrêts moteur chaud (« hot soak », moteur en fonctionnement au linéaire de trottoir) et les émissions par évaporation.

5.17 À des fins de démonstration, des estimations d'émissions pour véhicules au ralenti aux linéaires de trottoir ou en circulation/au ralenti dans les parcs de stationnement peuvent être calculées selon l'équation générale suivante :

$$E_{\text{total}} = (TD_m \times NV_m \times EF_m) + (T \times NV_1 \times EF_1) \quad \text{Éq. 3-A4-3}$$

où :

E_{total} = émissions totales pour tous les véhicules en mouvement et au ralenti (p. ex. grammes) ;

TD_m = distance de voyage (p. ex. kilomètres) ;

NV_m = nombre de véhicules sur la route par classe, âge et vitesse ;

EF_m = facteur d'émission pour véhicules mobiles (en mouvement) en prenant en considération la classe de véhicule, l'âge et la vitesse (p. ex. grammes/kilomètres-véhicule parcourus) ;

T = durée d'arrêt (p. ex. minutes) pendant laquelle le véhicule est stationnaire ;

NV_1 = nombre de véhicules au ralenti par classe, âge et vitesse ;

EF_1 = facteur d'émission au ralenti, en prenant en considération la classe, l'âge et la vitesse des véhicules (p. ex. grammes/minute).

5.18 En employant cette formule, l'exemple suivant calcule le niveau d'émissions pour un linéaire de trottoir en employant l'approche simple. Supposons un linéaire de trottoir de 0,2 kilomètre de longueur. Sur une période de 24 heures, 2 000 véhicules circulent sur la route longeant le linéaire de trottoir à une vitesse moyenne de 25 kilomètres/heure. La flotte de véhicules comprend 95 % d'automobiles et 5 % de véhicules utilitaires légers. Pendant que les conducteurs chargent/déchargent les bagages de passagers, chaque véhicule passe 2 minutes au ralenti. La température de la journée moyenne est de 21 degrés Celsius. En supposant des facteurs d'émission de CO de 30 grammes par kilomètre en mouvement (facteur d'émission correspondant pour la vitesse du véhicule de 25 kilomètres/heure) et de 4 grammes par minute au ralenti, les émissions de CO totales provenant du linéaire de trottoir sont calculées comme suit :

$$(0,2 \text{ kilomètre} \times 2\,000 \text{ véhicules} \times 30 \text{ grammes par kilomètre}) + (2 \text{ minutes} \times 2\,000 \text{ véhicules} \times 4 \text{ grammes par minute}) = 28\,000 \text{ grammes de CO (c.-à-d. 0,028 tonne métrique)}.$$

Pièce jointe A à l'Appendice 4

RÉFÉRENCES DES MODÈLES DE VÉHICULES

L'EPA de l'Office of Transportation and Air Quality (OTAQ) a élaboré le système MOrtor Vehicle Emission Simulator (MOVES). Ce nouveau système de modélisation des émissions produit des estimations des émissions de sources mobiles couvrant une vaste gamme de polluants et permet une analyse multi-échelle. À l'heure actuelle, MOVES fournit des estimations sur les émissions des voitures, camions et motos. Il est disponible à l'adresse suivante : <http://www.epa.gov/otaq/models/moves/index.htm> (consulté en juin 2020).

L'EMFAC est l'outil d'inventaire des émissions de source mobile utilisé par le California Air Resources Board (CARB) pour évaluer la population, l'activité et les émissions de sources mobiles. Le CARB a publié l'EMFAC2011, qui est son modèle officiel d'estimation des émissions des voitures, camions et autobus sur route en Californie. L'outil est accessible à <https://arb.ca.gov/emfac/2011/> (consulté en juin 2020).

COPERT 4 est un programme de Microsoft sur Windows qui peut calculer les émissions polluantes du transport routier. La méthode COPERT 4 est totalement harmonisée avec la section sur le transport routier figurant dans le document *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019*. L'utilisation d'un outil logiciel pour calculer les émissions du transport routier permet d'appliquer une procédure de collecte de données et de compte rendu sur les émissions qui est transparente et normalisée et par conséquent cohérente et comparable, et qui est conforme aux exigences des conventions et des protocoles internationaux et de la législation de l'Union européenne. Des informations sont disponibles ici : <http://copert-4.software.informer.com/8.0/> (consulté en juin 2020).

Le document Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA) fournit des facteurs d'émission pour toutes les catégories actuelles de véhicules (voitures, véhicules utilitaires légers, poids lourds, autobus urbains, autocars et motocyclettes). Chaque catégorie de véhicules est divisée en sous-catégories pour une grande variété de situations de circulation. Les facteurs d'émission pour tous les polluants réglementés et la plupart des polluants non réglementés, ainsi que la consommation de carburant et le CO₂, y figurent. L'outil est accessible sur le site www.hbefa.net (consulté en juin 2020).

Chapitre 4

DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE DES ÉMISSIONS

4.1 INTRODUCTION

4.1.1 À un aéroport, des émissions se produisent à différents endroits et à différents moments selon le rôle et les caractéristiques opérationnelles de la source. Des sources stationnaires telles que des générateurs ou des installations de chauffage, par exemple, émettent à partir d'emplacements fixes et leur fonctionnement peut être continu ou intermittent. Comparativement, les émissions des aéronefs sont plus mobiles, se produisant à différents emplacements sur l'aéroport, différents moments de la journée et différentes intensités. Les émissions des aéronefs générées pendant le décollage et l'atterrissage se produisent aussi hors aéroport et jusqu'à la hauteur de mélange locale, souvent censée être à une altitude de 1000 m ou 3000 ft. Il en résulte que la dispersion des émissions n'est pas seulement une distribution temporelle mais devient aussi une considération spatiale, tridimensionnelle¹. D'autres sources mobiles sont généralement confinées à une zone générale mais se déplacent à l'intérieur de celle-ci et varient selon l'heure de la journée. C'est par une distribution temporelle et spatiale des émissions que doit être faite l'évaluation de cette variabilité de localisation et de densité d'émissions. Cela est spécialement vrai si la modélisation de la dispersion doit être faite dans le cadre de l'analyse générale de la qualité de l'air. Selon la configuration de la source de modélisation de la dispersion (point, ligne, volume ou aire, p. ex.), différentes informations pourront être nécessaires pour la distribution des émissions. Le présent chapitre décrit le processus de distribution des émissions qui se produit aux abords des aéroports.

4.1.2 En résumé, l'évaluation de la distribution des émissions liées à l'aéroport vise les objectifs suivants :

- a) détermination des densités d'émission spatiales (localisation) ;
- b) détermination des émissions temporelles (heure de la journée et durée totale de rejet) ;
- c) évaluation des aires de l'aéroport où se trouvent certains polluants ;
- d) détermination de « points chauds » sur la plate-forme aéroportuaire ; et/ou
- e) mise au point des entrées pour la modélisation de la dispersion.

4.1.3 Le processus de distribution des émissions est étroitement lié au processus général d'inventaire des émissions et à la modélisation de la dispersion, s'il y est procédé. C'est pourquoi il sera souvent fait référence au Chapitre 3, plutôt que de répéter l'information.

4.1.4 La distribution des émissions peut avoir lieu à différents moments pendant l'analyse de qualité de l'air des aéroports ou bien n'être pas du tout faite. Certains aéroports, par exemple, l'effectuent lorsqu'ils réalisent l'inventaire d'émissions, en combinant les travaux. D'autres ne la font pas avant le début de la modélisation. En effet, un inventaire d'émissions inclut la masse totale provenant de tout l'aéroport, ventilée par types de sources et de polluants, et cela peut être tout ce qui est nécessaire. Une autre possibilité est un inventaire attribué qui situe les émissions temporellement et

1. Il est à noter que le terme attribution (*allocation*) est souvent employé au lieu du terme distribution lors de l'analyse d'aéroport. Attribution dans un sens général peut cependant avoir une signification différente, et ce terme n'est donc pas employé dans le présent document.

spatialement, apportant des renseignements supplémentaires qui pourront être utilisés pour l'analyse de tendances, comme entrées pour la modélisation de la dispersion ou pour atténuer la distribution des émissions. Il se pourrait aussi que les données détaillées qui sont nécessaires ne soient pas disponibles lors de l'inventaire initial des émissions, ce qui pourrait retarder l'achèvement du travail.

4.1.5 En général, la distribution des émissions aéroportuaires comprend les étapes suivantes :

- a) définir le but de la distribution (modélisation de la densité d'émissions, de la variabilité des émissions ou de la dispersion) ;
- b) recueillir des informations spatio-temporelles détaillées, spécifiques aux différentes sources ;
- c) réaliser une assurance qualité sur les données spatiales et temporelles ;
- d) répartir les sources par aire spécifique, par moment de la journée et par durée de fonctionnement ;
- e) créer les inventaires d'émissions par source, par aire et par moment de la journée, comme le décrit le Chapitre 3 ;
- f) combiner les résultats et en rendre compte.

4.1.6 Si l'ultime application des données doit être la modélisation de la dispersion, l'approche à adopter pour évaluer la distribution spatio-temporelle des émissions sera souvent dictée par les exigences du modèle de dispersion et les données météorologiques connexes. En général, les concentrations à la sortie du modèle de dispersion seront nécessaires pour montrer des moyennes sur une année, sur 8 heures et sur 24 heures avec le nombre de dépassements des limites en ces laps de temps, ce dont il sera question aux § 4.2.4 à 4.2.6 du présent chapitre. Peut-être la représentation géospatiale devra-t-elle aussi être compatible avec une évaluation régionale ou nationale, et il faudra prendre soin de déterminer la base correcte pour qu'il n'y ait pas de retards.

4.2 CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA DISTRIBUTION DES ÉMISSIONS

4.2.1 Étant donné que la distribution des émissions détermine leur représentation spatiale, la première tâche est la collecte de données opérationnelles et d'informations sur la localisation pour chacune des sources situées sur l'aéroport ou à proximité. Les espèces de polluants typiques des sources d'émissions aéroportuaires sont décrites au Chapitre 3, section 3.3, et les sources sont décrites au Chapitre 3, section 3.4. La distribution des émissions se fait souvent en liaison avec la collecte initiale de données pour l'inventaire d'émissions, comme cela est décrit au Chapitre 3, mais tel n'est pas toujours le cas. La raison de procéder à la distribution des émissions comme tâche distincte est que la localisation et la durée de rejet sont sans importance pour un inventaire d'émissions et que le travail peut être accompli sans distribution. La distribution, comme telle, pourra être faite ultérieurement, au besoin. En certains lieux, tels les États-Unis, un inventaire global d'émissions peut être tout ce qui est nécessaire, à moins que des accroissements d'émissions n'interviennent ou qu'une réalisation majeure (p. ex. nouvel aéroport, nouvelle piste ou nouvelle voie de circulation) ne doive être entreprise. En de tels cas, une modélisation de la dispersion est parfois nécessaire et il est généralement procédé à une distribution des émissions conjointement avec la tâche de modélisation de la dispersion. Si l'on sait au moment d'entreprendre l'inventaire d'émissions qu'une distribution sera nécessaire, il est généralement plus efficace de faire ce travail dans le cadre de la tâche d'origine.

4.2.2 Les informations additionnelles nécessaires pour la distribution spatio-temporelle peuvent varier considérablement d'un aéroport à un autre. Par exemple, le temps de circulation à la surface pour un aéronef dépend de la configuration des pistes et des voies de circulation, de la longueur des files d'attente, de la configuration des portes d'embarquement et du type d'aéronef. La plupart des caractéristiques opérationnelles et de performance des aéroports étant différentes d'un aéroport à un autre, la durée dans le mode circulation au sol variera aussi et devra être déterminée

au cas par cas. La meilleure pratique inclut l'emploi de données spécifiques à chaque aéroport lorsque c'est possible (c.-à-d. l'emploi de la durée réelle de circulation au sol pour chaque mouvement). Les horaires de fonctionnement des aéroports varient également, de sorte que les périodes au cours desquelles les émissions se produisent réellement seront différentes. Il en résulte qu'il faut une collecte de données pour chaque aéroport, quoique des procédures et des hypothèses simplifiées puissent être utilisées dans certains cas.

4.2.3 Le processus de collecte de données exige souvent que l'analyste de qualité de l'air se mette en rapport avec de multiples entités pour obtenir les informations requises. Les Tableaux 4-1 et 4-2 donnent des listes d'entités auprès desquelles ces renseignements pourraient être obtenus, par type de sources d'émissions. Dans la mesure du possible, les données devront être spécifiques, par heure et par lieu pour une journée type d'opérations. Il se produit des variations dans ces paramètres, mais elles sont parfois difficiles à quantifier, et l'évaluation des conditions « types » ou de « journée moyenne » sera donc analysée plus souvent. À certains aéroports, il peut se produire aussi des variations saisonnières, dont il faudra tenir compte.

Tableau 4-1. Sources de données spatiales pour la distribution des émissions

Source d'émissions	Provenances possibles d'informations
Géométrie des pistes/voies de circulation/portes d'embarquement de l'aéroport	Cartes Orthophotographies Plans d'aménagement d'aéroport (ALP) Fichiers de Systèmes d'information géographique (SIG) Enquêtes de terrain
Sources stationnaires	Cartes Fichiers de SIG Orthophotographies Bureau d'exploitation de l'aéroport Exploitants de base aérienne Bureau des opérations de maintenance Enquêtes de terrain
Sources mobiles côté piste	Plan directeur Comptes rendus de bruit Bureau d'exploitation d'aéroport Bureau des opérations de maintenance Enquêtes de terrain Entreprises/agents de services d'escale
Sources mobiles côté ville	Plan directeur Comptes rendus de bruit Bureau d'exploitation d'aéroport Bureau des opérations de maintenance Enquêtes de terrain Autorités régionales
Sources non standard	Plan directeur Bureau d'exploitation d'aéroport Bureau des opérations de maintenance Bureau de la sécurité d'aéroport Sûreté aéroportuaire Enquêtes auprès d'exploitants de base aérienne Enquêtes de terrain

Tableau 4-2. Sources de données temporelles pour la distribution des émissions

Source d'émissions	Provenances possibles d'informations
Sources fixes	Plans directeur Comptes rendus de bruit Calendriers/historique de livraison de carburant Dossiers d'utilisation de carburant Bureau d'exploitation d'aéroport Bureau de maintenance d'aéroport Enquêtes auprès d'exploitants de base aérienne
Aéronefs	Information sur les horaires des compagnies aériennes horaires d'aéroport Logs de tour de contrôle Compagnies aériennes Calendrier fret Comptes rendus de bruit Observations
Sources mobiles côté piste	Horaires d'aéronefs Compagnies aériennes Prestataires de services Plan directeur Bureau d'exploitation d'aéroport Bureau des opérations de maintenance Observations Sociétés d'assistance en escale
Sources mobiles côté ville	Plan directeur Horaires de transports en commun Comptages des stationnements Horaires du personnel Programmation fret Comptages trafic routier Limites de vitesse Mesures de vitesse sur routes Bureau d'exploitation d'aéroport Bureau des opérations de maintenance Sûreté aéroportuaire Observations/enquêtes sur le terrain
Sources non standard	Plan directeur Bureau d'exploitation d'aéroport Bureau des opérations de maintenance Bureau de sécurité d'aéroport Sûreté aéroportuaire Enquêtes auprès d'exploitants de base aérienne Enquêtes de terrain

4.2.4 Chaque source d'émissions est attribuée à une période de temps spécifique par emplacement sur l'aéroport. On emploiera le plus souvent des périodes de temps d'une heure plutôt qu'une journée moyenne de 24 heures à cause des exigences de modélisation de la dispersion. La source pourrait ne pas fonctionner pendant l'heure entière et, dans le cas de sources mobiles, changer d'emplacement sur l'aéroport. Il faut en tenir compte lors de la distribution. Cela pourra se faire en utilisant des fractions de la période d'estimation ou une factorisation lors de l'allocation des émissions. Les deux méthodes aboutiront au même résultat.

4.2.5 Lorsque la finalité est seulement la distribution des émissions, celles-ci sont attribuées à des aires d'activité ou à des mailles de grilles pour chaque incrément de temps choisi. Les aires ou grilles définies dépendront de la source et de son aire de fonctionnement type (les tracteurs/pousseurs utilisés pour manœuvrer les avions, p. ex., ont tendance à rester dans des aires spécifiées autour des portes d'embarquement de l'aérogare). Les résultats finaux peuvent être établis par heure, jour, semaine, mois ou année, mais, comme on l'a déjà vu, c'est l'heure qui est le plus souvent employée, en raison des besoins d'entrées pour la modélisation de la dispersion. Le résultat final pourra être utilisé ensuite pour estimer les changements de densité des émissions sur l'aéroport, procéder aux analyses de points chauds, étudier la variabilité des émissions ou comparer des tendances.

4.2.6 Lorsque la finalité est la modélisation de la dispersion, les entrées requises pour le modèle de dispersion dictent l'attribution des émissions. La pratique courante est de prédire des concentrations horaires pour déterminer la pire heure de la journée ou la plus grande période d'heures consécutives, selon le polluant et les réglementations applicables. Cela donne des concentrations locales dans l'air ambiant qui pourront servir à déterminer les incidences sur la santé publique ou le bien-être. Comme indiqué plus haut, les périodes le plus couramment employées sont une heure, huit heures, 24 heures et une année. Aux aéroports de l'UE, la législation exige le nombre d'occurrences de certains niveaux de concentration (sur différents pas de temps, comme indiqué plus haut, p. ex. moyennes sur 24 heures/ 8 heures/une heure) sur l'année. Cela a lieu pendant la modélisation de la dispersion, mais il faut en tenir compte.

4.3 DISTRIBUTION SPATIALE²

4.3.1 Le processus général exposé au Chapitre 3 s'applique ici encore. La différence est que l'inventaire général est réparti en inventaires plus petits, spécifiques à un emplacement particulier. Comme indiqué par l'EPA des États-Unis, « Parce que la modélisation de la qualité de l'air cherche à reproduire les processus physiques et chimiques réels qui se produisent dans un domaine d'inventaire d'émissions, il importe de déterminer de façon aussi précise que possible la localisation physique des émissions. Dans une situation idéale, la localisation physique de toutes les émissions serait connue exactement. En réalité, cependant, l'attribution spatiale des émissions dans un inventaire de modélisation ne donne qu'une approximation de la localisation réelle des émissions. » L'approximation requise n'est pas un problème qui se pose seulement aux États-Unis, mais concerne tous les aéroports. Cela est très vrai pour les aéroports où les activités varient d'un jour à l'autre. Il est néanmoins possible de déterminer la densité d'émissions spatiale pour la moyenne globale. Le processus commence par la détermination des aires, mailles ou zones auxquelles les émissions seront attribuées, en fonction de la finalité prévue des résultats et des exigences du modèle utilisé. La taille des aires, cellules ou zones est aussi fonction de l'aire opérationnelle de la source, comme il a déjà été mentionné. La distribution pourra être faite en établissant une série de mailles de forme semblable sur l'aéroport ou en déterminant des aires d'activité pour chaque source. Des mailles sont souvent employées conjointement avec des cartes de densité d'émissions pour montrer des changements dans la densité générale des émissions aux abords de l'aéroport. C'est une aide considérable pour le planificateur lorsqu'il s'agit d'évaluer où se produisent des « points chauds » (*hot spots*) et cela aidera à déterminer où des mesures de réduction peuvent être nécessaires. Une représentation basée sur des mailles correspond aussi de près à une analyse de dispersion où les niveaux de concentration modélisés seraient utilisés conjointement avec des cartes d'utilisation des terrains, de population, de types d'habitat, de zones sensibles, etc.

2. Dans le contexte de ce manuel, les termes « attribution » et « distribution » sont employés de façon interchangeable.

4.3.2 D'une part, la distribution par zones d'activité permet que l'aéroport évalue les émissions liées à ces activités particulières. Ces zones d'activité pourraient être la zone des portes d'embarquement, le terrain d'aviation, les parcs de stationnement, un réseau routier, des zones de déchargement, etc. Comme précédemment, la précision d'attribution à chaque zone dépend de la possibilité de bien la caractériser. Les émissions de chaque zone permettraient la caractérisation de cette zone et la comparaison de différents programmes de réduction d'émissions pour l'activité considérée. Dans le cas de la modélisation de la dispersion, les zones pourraient être reliées à l'évaluation des méthodes de réduction des incidences possibles sur la santé publique ou le bien-être de la population au niveau local.

4.3.3 La distribution spatiale est évidente pour les sources stationnaires et est facile à établir. Les émissions de sources stationnaires sont déterminées par la durée d'utilisation, mais ne se déplacent pas. Les sources mobiles créent des difficultés, étant donné qu'une source mobile peut franchir plusieurs limites spatiales établies, à moins qu'une zone d'activité ne soit expressément définie pour cette source. Ceci est spécialement vrai pour les matériels de servitude au sol (GSE) mobiles, et des directives peuvent être nécessaires dans leur cas pour assurer une distribution spatiale fiable et cohérente. Lorsque l'approche « grille » est employée, il faut calculer pour chaque maille les émissions partielles pour l'opération, ce qui aboutit à une combinaison de paramètres temporels et spatiaux. Une approche couramment employée consiste à déterminer la durée dans une certaine maille en utilisant l'IE et à attribuer les émissions pour cette maille. Cette façon de procéder a été décrite au Chapitre 3. Il faut accomplir ce processus pour toutes les sources mobiles entrant dans l'aire définie, et additionner avec les sources stationnaires dans l'aire considérée. La somme de toutes les sources, pour chacun des polluants, donne la densité d'émissions pour l'aire ainsi définie.

4.3.4 On se souviendra que la distribution spatiale donne seulement des informations sur la densité d'émissions. La variabilité des émissions exige l'emploi de la distribution temporelle, et les deux combinées donnent à l'analyste un outil encore plus solide.

4.4 DISTRIBUTION TEMPORELLE

4.4.1 La distribution temporelle apporte une mesure de la variabilité des émissions, selon la durée. Selon l'EPA des États-Unis, « Étant donné que la modélisation de la qualité de l'air tente de représenter les processus physico-chimiques réels qui se produisent sur une certaine durée, il importe que l'attribution temporelle des émissions soit aussi précise que possible. Elle peut se concevoir comme une comptabilisation des variations des émissions au cours du temps. L'attribution temporelle la plus simple concerne une source d'émissions en régime constant qui rejette constamment des émissions, tout le temps au même débit. Dans les conditions réelles, cependant, les sources d'émissions en régime constant sont assez rares : elles pourraient, au lieu de cela, ne fonctionner qu'en hiver, ne pas fonctionner les dimanches, ou encore leur activité pourrait connaître des pointes à certaines heures de la journée. Les attributions temporelles permettent de modéliser correctement la variabilité des émissions pendant les périodes de modélisation souhaitées, lesquelles varieront selon la finalité de l'inventaire ».

4.4.2 La distribution temporelle exige que l'on détermine le moment de la journée où se situe l'activité. Une installation de chauffage, par exemple, peut fonctionner en continu et les émissions, constantes au cours de toute la journée, pourront être facilement attribuées sur la journée. Il en résulterait des facteurs d'activité identiques pour chaque heure, avec une densité d'émissions constante pour cette source stationnaire. Les sources mobiles telles que les aéronefs, par contre, n'ont pas une activité continue ; souvent, cette activité ne dure pas une heure entière. Cela rend la distribution plus difficile. À cela s'ajoute le déplacement de la source entre des aires définies, comme on l'a déjà vu. Pour ces sources, il faut veiller à définir les durées d'utilisation par zone ou par aire définie. Dans le cas extrême, des profils d'activité peuvent être nécessaires pour chacune des principales voies de circulation à la surface, à considérer comme une zone distincte. Une relation pourra être établie entre la période où une source se trouve dans une zone et la vitesse de la source mobile, ainsi que la distance parcourue dans chaque zone définie, c'est-à-dire :

durée dans la zone = distance parcourue dans la zone/vitesse de la source mobile.

4.4.3 Si la vitesse varie dans la zone, il faudra peut-être subdiviser encore ce processus et déterminer le total. Souvent, on supposera une vitesse moyenne pour simplifier le processus. Il faut aussi déterminer le parcours que la source mobile traverse lorsqu'elle se trouve dans la zone. S'il s'agit de routes, voies de circulation, pistes ou routes établies, le processus est bien défini. Si le parcours n'est pas bien défini, des approximations devront être faites. Il pourra être supposé, par exemple, qu'une voiture circulant dans un parc de stationnement parcourt la moitié de la distance totale possible à l'entrée puis la moitié de la distance totale possible à la sortie. Une fois déterminé le temps passé dans l'aire définie, le processus d'estimation des émissions devient celui qui est décrit au Chapitre 3.

4.4.4 On voit que d'autres difficultés peuvent se présenter pour des sources n'ayant pas du tout de parcours défini. En de tels cas, l'observation pourra être nécessaire pour déterminer une durée représentative. Une procédure simplifiée pourrait aussi être employée sur la base d'études antérieures pour certains types d'équipement (GSE par exemple). Des données de ce type sont présentées dans l'Appendice 2 au Chapitre 3. Pour des sources stationnaires mineures, tels les matériels de dégivrage, d'entraînement à la lutte contre l'incendie ou d'essais de moteurs, certaines simplifications pourraient être faites pour l'attribution spatio-temporelle des émissions (des données météorologiques pourraient être employées, par exemple, pour définir quand un dégivrage aura lieu.)

4.5 EMPLOI DE MODÈLES INFORMATISÉS

4.5.1 Les modèles informatisés de qualité de l'air mis au point pour les analyses aéroportuaires permettent souvent d'obtenir aussi bien des entrées que des sorties spatio-temporelles comme éléments des inventaires d'émissions. Il s'agit notamment des modèles AEDT et EDMS (FAA des États-Unis), LASPORT, ADMS et Open-ALAQS (EUROCONTROL).

4.5.2 Lors de la mise au point des données d'entrée pour ces modèles, le processus décrit plus haut sera souvent nécessaire, car les modèles ne peuvent avoir des algorithmes pour toutes les sources pour permettre la détermination spatio-temporelle. Un modèle basé sur SIG devrait faciliter le processus de distribution spatiale grâce à son interface hautement visuelle ; la Figure 4-1, tirée de l'ALAQS-AV basé sur Arcview (ancienne version d'Open-ALAQS), en montre un exemple. Les modèles LASPORT et EDMS ont aussi des moyens SIG. Il est à noter que tout programme basé sur une interface utilisateur graphique facilitera la détermination spatiale et, avec des entrées appropriées, aidera à la distribution temporelle. L'utilisateur trouvera de plus amples renseignements dans le guide de l'utilisateur pour le modèle approprié.

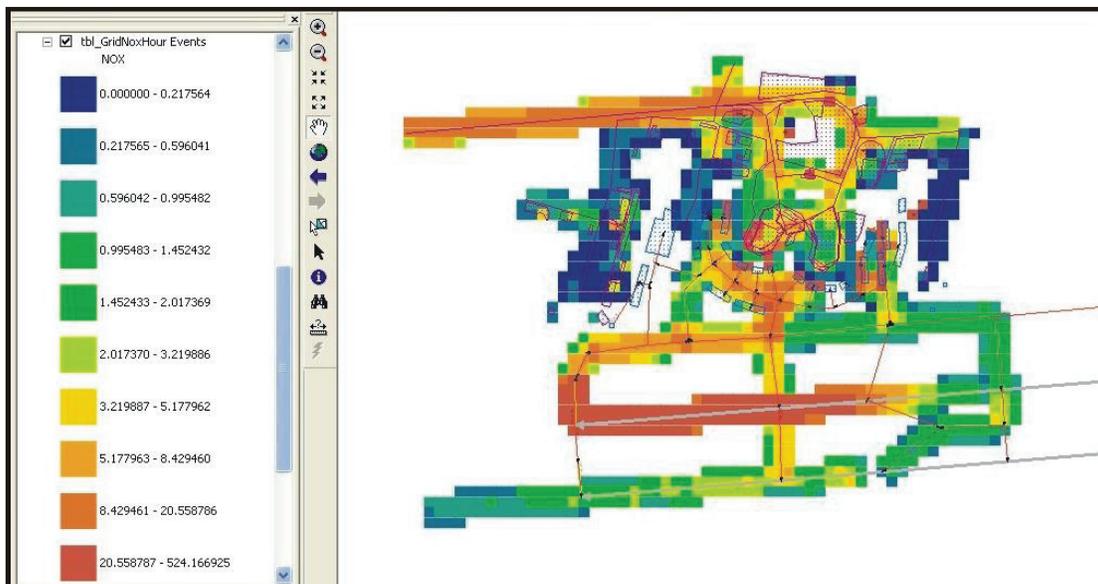


Figure 4-1. Exemple d'un inventaire géospatial 2-D des émissions

4.6 FORMATAGE DES DONNÉES ET COMPTE RENDU

4.6.1 Il est souvent indispensable d'employer une approche matricielle pour rendre compte de résultats spatio-temporels. La Figure 4-2 montre un exemple (EPA des États-Unis). On voit sur cette figure que les sources 23 et 24 sont des sources d'émissions continues tandis que la source 25 représente une source à variabilité temporelle des émissions. À partir d'une analyse de ce type, il est facile de déterminer les émissions pour une heure quelconque. La source 24, par exemple émet 417 lb entre 14 h et 15 h. Cette même approche matricielle peut aussi être employée pour le compte rendu spatial ou pour chacune des sources dans un tableau unique, en combinant les données spatiales et temporelles. Dans certains modèles, de telles matrices peuvent être obtenues comme sorties.

4.6.2 Un fois les données sous cette forme, des graphiques peuvent être employés aussi pour présenter les résultats et faciliter l'identification de tendances. La Figure 4-3, par exemple, présente la courbe de la source 25 que montre la Figure 4-2. On voit que la source est utilisée l'après-midi, mais beaucoup moins à d'autres moments de la journée. Ceci pourrait être utilisé pour la distribution spatiale et aussi avec un graphique 3-D, facilitant grandement la compréhension.

4.6.3 Des présentations graphiques peuvent être employées pour montrer la distribution géospatiale, généralement dans des grilles de densité 2-D, mais il pourrait être envisagé aussi d'employer avec soin des techniques 3-D pour des sources telles que les avions, comme le montre la Figure 4-4.

Heure...	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	...	Total
23	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435	...	10005
24	417	417	417	417	417	417	417	417	417	417	417	417	417	417	...	10008
25	508	763	847	847	847	847	847	847	847	847	763	508	254	85	...	9996

Lbs rejetées par heure

Sources

Figure 4-2. Fichier de profil diurne

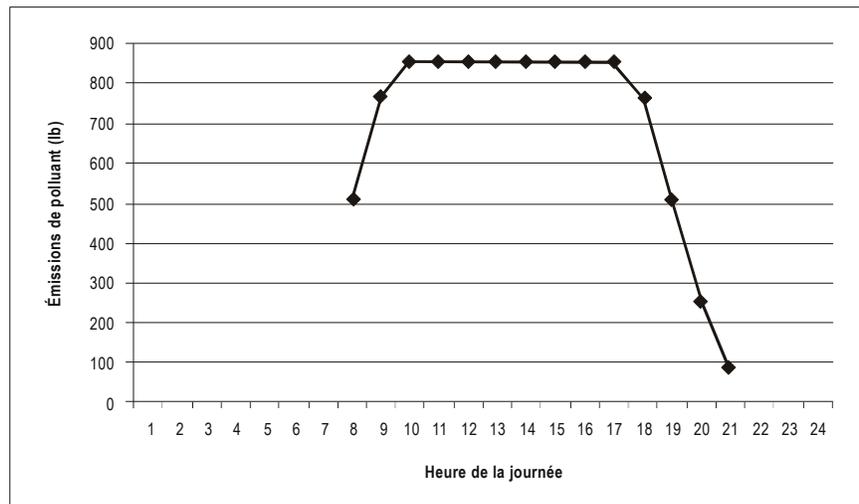


Figure 4-3. Graphique de profil diurne

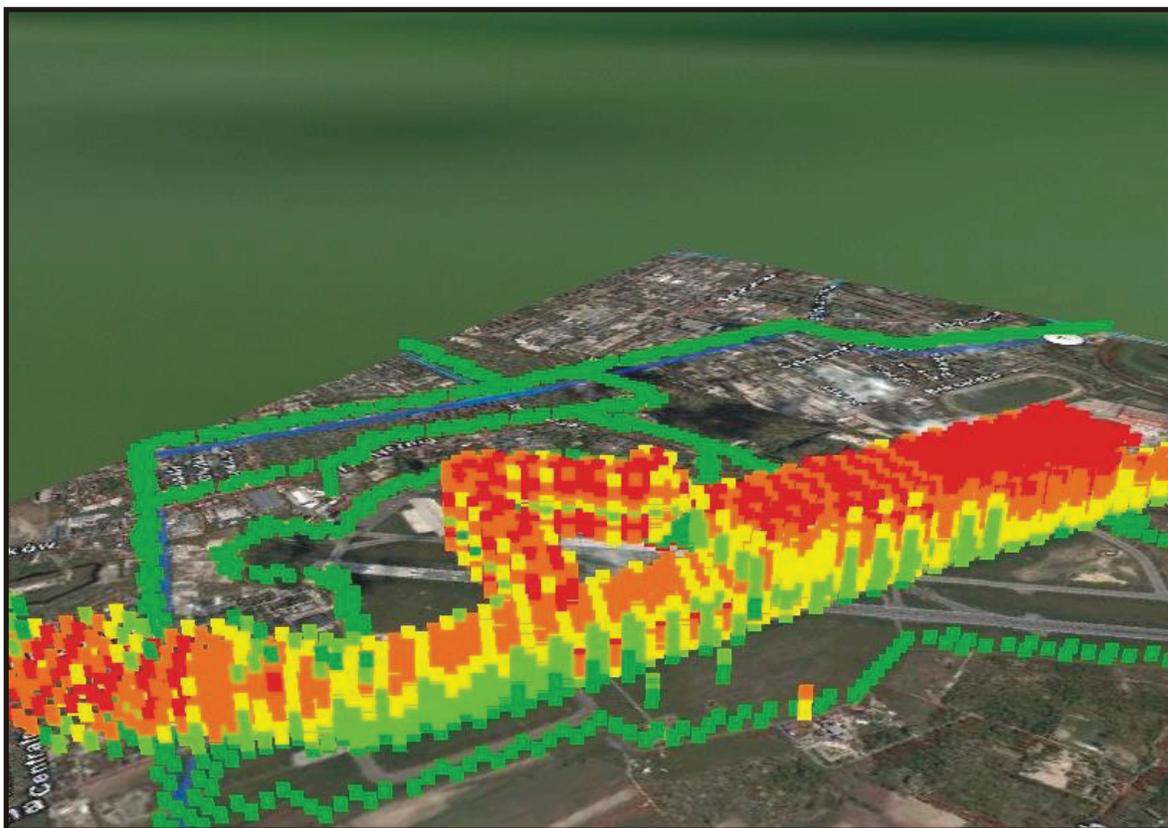


Figure 4-4. Exemple d'un inventaire d'émissions géospatial 3-D

Chapitre 5

MODÉLISATION DE LA DISPERSION

5.1 INTRODUCTION

5.1.1 Au Chapitre 3, des orientations sur l'estimation de la masse émise pour divers polluants ont été discutées. Cependant, la masse totale émise ne tient pas compte du mélange dans l'atmosphère, qui détermine les concentrations locales, ou combien de masse est mélangée dans l'air à un moment donné. Une modélisation supplémentaire est nécessaire pour estimer ces concentrations ambiantes locales.

5.1.2 Une substance trace rejetée par une source dans l'atmosphère libre sera transportée par le champ du vent moyen et dispersée par la turbulence atmosphérique, processus qui est appelé dispersion atmosphérique. La dispersion peut être définie de façon plus rigide¹ comme « la dissémination des valeurs d'une distribution en fréquence autour d'une moyenne ». La modélisation de la dispersion atmosphérique est donc une [simulation mathématique](#) du processus de diffusion ou de mélange dans l'[atmosphère](#) ambiante. Les substances traces qui sont le plus souvent évaluées sont les polluants atmosphériques réglementés, dont il a été question au Chapitre 3, § 3.4, pour les sources aéroportuaires. Dans le calcul de la dispersion aéroportuaire, le mélange atmosphérique de ces substances traces ou polluants émis par des sources locales est modélisé sur la base de principes scientifiques et il est fait des prédictions des distributions de la concentration qui en résultent (généralement à proximité du sol). Les résultats, ou prédictions de concentrations atmosphériques, servent de base aux études d'impact sur la qualité de l'air locale et sont utilisés pour montrer la conformité aux réglementations et/ou normes obligatoires.

5.1.3 Ce chapitre expose la nécessité de modéliser la dispersion au voisinage des aéroports, donne un bref aperçu de modèles de dispersion, résume des pratiques typiques lors de la modélisation de la dispersion atmosphérique aux aéroports et examine comment les prédictions de concentrations sont utilisées pour l'estimation des incidences. Il a été structuré de façon à suivre la présentation du Chapitre 3, c'est-à-dire que la modélisation nécessaire sera examinée selon trois approches : simple, avancée et sophistiquée.

5.2 EXIGENCES ET FACTEURS EXTÉRIEURS

5.2.1 Il sera question dans cette section de la nécessité de modéliser la dispersion et des facteurs extérieurs qui, à la fois, sont cause de cette nécessité et l'influencent. Comme on l'a vu en détail au Chapitre 2, des évaluations de la qualité de l'air sont souvent nécessaires en vue d'initiatives envisagées à des aéroports pour répondre à :

- a) une dégradation de la qualité de l'air entraînant des marges réduites par rapport aux réglementations existantes ;
- b) une prise de conscience accrue des incidences sur la santé, menant à la production de nouvelles réglementations, ceci incluant l'ajout de nouvelles espèces de polluants visées ;

1. Dictionnaire en ligne Merriam-Webster, <http://www.merriam-webster.com/dictionary/dispersion> (consulté en juin 2020).

- c) des contraintes sur le développement, résultant de limitations imposées par la nécessité de respecter les normes de qualité de l'air ;
- d) des attentes accrues du public en matière de niveaux de qualité de l'air ;
- e) des activités de relations publiques de l'aéroport ou de lobbies environnementaux ;
- f) des exigences législatives de différents pays ou différentes régions.

5.2.2 Il a été question plus haut de la modélisation des émissions pour répondre à ces exigences. La modélisation des émissions, préalable à la modélisation de la dispersion, permet un examen spatio-temporel des modifications des émissions. Or, les incidences directes sont liées surtout aux concentrations ambiantes et pas seulement à la masse d'émissions rejetée. Les normes de qualité de l'air ambiant, les incidences réelles et les incidences sur la santé seront mieux évaluées en employant les concentrations ambiantes qu'avec la masse émise. Comme on l'a déjà vu, le mélange atmosphérique des émissions a pour résultat des concentrations ambiantes qui seront le plus souvent utilisées pour déterminer des incidences locales. Les mesurer, ce qui est décrit au Chapitre 6, peut être fort coûteux, définir seulement la concentration en un point dans l'espace pour chaque mesure et ne pas révéler aisément la part de contribution de chaque source contributrice. La modélisation de la dispersion permet que l'évaluation de la qualité de l'air locale soit faite à un coût raisonnable. En tout état de cause, la modélisation de la dispersion devra déterminer le mélange ambiant dans le cadre du processus d'analyse général.

5.2.3 Au-delà de la nécessité évidente de modélisation de la dispersion, le recours au processus d'estimation est souvent imposé par la législation ou par des ordonnances. Les réglementations résultant de ces obligations légales peuvent aussi spécifier comment la modélisation de la dispersion doit être accomplie ou comment les variables seront prises en considération. Il est recommandé à l'analyste de tenir compte de toutes exigences connexes pour assurer que le processus se déroule comme il le faut.

5.3 CONCEPTS GÉNÉRAUX EN MATIÈRE DE DISPERSION

5.3.1 Cette section donne un bref aperçu des concepts physiques de base intervenant dans la modélisation de la dispersion ainsi que du processus requis. Des références sont indiquées pour permettre aux personnes intéressées d'explorer ces concepts de façon plus approfondie. Une bonne compréhension du fonctionnement des modèles devrait mener à leur utilisation plus appropriée.

5.3.2 Lorsqu'un élément trace ou un polluant est émis en provenance d'une source, son destin final est déterminé par les caractéristiques du polluant, les caractéristiques de la source, les mouvements atmosphériques et la topographie locale. Chacun de ces paramètres joue un rôle important dans les concentrations locales. On qualifie de polluant primaire un polluant directement émis dans sa forme finale. Des polluants primaires qui sont très lents à réagir avec d'autres gaz dans l'atmosphère sont appelés polluants passifs. On qualifie souvent d'inertes des polluants primaires tels que le monoxyde de carbone (CO) parce que le temps de réaction et le temps de séjour dans l'atmosphère sont très longs. Des polluants secondaires sont formés dans l'atmosphère lorsque le précurseur émis à l'origine y subit des réactions chimiques ou d'autres processus de conversion et forme un nouveau polluant. Ces polluants sont qualifiés de secondaires parce que la composition finale n'est pas telle qu'elle était lors de l'émission en provenance de la source. L'ozone (O₃) est un polluant secondaire.

5.3.3 La source du polluant affecte les concentrations locales du fait de la localisation du rejet ; elle affecte le débit volumique total et la dynamique de l'air d'échappement du fait de l'effet sur la dispersion atmosphérique, en plus des mouvements atmosphériques. Ces mouvements déterminent la direction générale dans laquelle les émissions se déplacent et sont responsables au premier chef du mélange avec l'atmosphère ambiante (dispersion), créant ainsi un « panache » de polluant (en anglais, *plume* ou *puff*). La direction du panache est déterminée par le mouvement de grande échelle, tel l'écoulement du vent moyen, tandis que le mélange est davantage lié à des remous de petite échelle dans

le flux, appelés turbulence. De même, les caractéristiques du relief et les bâtiments locaux auront un effet sur les concentrations locales, du fait de changements dans la configuration des vents et de la création de turbulence. Tous ces paramètres affectent la dispersion atmosphérique et entraînent une distribution tridimensionnelle, généralement en fonction du temps, de la concentration de la substance trace (polluant) émise. De même, d'autres processus propres à une certaine substance peuvent avoir un effet, tel que le dépôt sec ou humide.

5.3.4 Les quantités qui déterminent la dispersion atmosphérique, dont résulte une concentration locale, peuvent être groupées comme suit :

- a) paramètres de source Q1 (lieu, forme, dynamique de l'air d'échappement) ;
- b) paramètres d'émissions Q2 (force des émissions de chaque substance trace pour chaque source) ;
- c) paramètres de substance Q3 (p. ex. propriétés de conversion ou de dépôt) ;
- d) paramètres atmosphériques Q4 (p. ex. vitesse du vent, direction du vent, propriétés de turbulence et température) ;
- e) paramètres de terrain Q5 (p. ex. rugosité de la surface, profil du terrain, obstacles).

5.3.5 Les paramètres ci-dessus ne sont pas tous indépendants et la plupart sont fonction du temps. Il est évident que la série de paramètres inclut des informations en sus de ce qui est nécessaire pour les calculs d'émissions, même quand l'attribution des émissions a été faite de la façon décrite au Chapitre 4.

5.3.6 Aux aéroports, les sources pertinentes peuvent être groupées comme suit :

- a) S1 aéronefs, y compris les groupes auxiliaires de puissance (GAP) ;
- b) S2 sources liées à l'assistance en escale (p. ex. GSE, avitaillement des aéronefs, véhicules côté piste) ;
- c) S3 sources stationnaires et sources dispersées (p. ex. groupes motopropulseurs, entraînement à la lutte contre l'incendie) ;
- d) S4 trafic d'accès à l'aéroport (p. ex. véhicules motorisés côté ville).

5.3.7 Les méthodologies appliquées à l'étude de la dispersion ne concernent évidemment que les sources à inclure directement dans le modèle. Des contributions régionales ou de fond s'ajoutent aussi à la concentration locale totale pour produire la concentration totale, laquelle est nécessaire pour comparer avec les critères ou normes applicables. Ces sources de fond peuvent être substantielles et être situées à des distances variables de l'aéroport. Il faudra considérer comment les sources de fond et les concentrations qui en résultent sont prises en compte sur la base de la résolution spatiale de l'aire de modélisation et des sources de données à utiliser, telles les stations de surveillance de l'air ambiant sur longue durée. Cela contraste avec les évaluations de bruit, où la contribution de l'aéroport est généralement la composante qui est de loin dominante. Pour prendre en compte la concentration globale, il faut ajouter la concentration de fond à la concentration que prédisent les modèles. Cela donne :

$$c_t = c_s + c_b \quad \text{Éq. 5-1}$$

où :

- c = concentration, les indices t, s et b représentant respectivement les concentrations totale, de source et de fond.

5.3.8 Dans l'Éq. 5-1, la somme représente la concentration en un point dans l'espace en provenance de toutes les sources, valeur qui sera comparée aux normes applicables de qualité de l'air ambiant. Il est à noter que la concentration, c , est spécifique à un polluant, ce qui signifie que l'on ne peut pas additionner des polluants de différentes espèces.

5.3.9 Les concepts et éléments fondamentaux de la modélisation de la dispersion de l'air comprennent les points suivants :

- a) identification du modèle et options ;
- b) caractéristiques de décharge des sources d'émission ;
- c) données météorologiques ;
- d) allocation spatiale ;
- e) profils temporels ;
- f) données topographiques ;
- g) rabattement dû à l'effet du bâtiment ;
- h) emplacements du récepteur ;
- i) conversion NO_x à NO_2 ;
- j) concentrations de fond.

5.3.10 Plusieurs approches de la modélisation de la dispersion ont été appliquées à divers aéroports dans le monde pour prédire des concentrations locales. La science continue d'évoluer, et les modèles aéroportuaires le feront aussi. Le présent chapitre sera donc axé sur les méthodologies courantes actuellement employées plutôt que sur des modèles spécifiques.

5.3.11 La formulation concrète de ces modèles peut varier. Pour aider le lecteur à mieux comprendre les méthodes employées pour les modèles de dispersion, il sera brièvement question à l'Appendice 1 des formulations de modèles. Une liste des modèles informatiques couramment employés pour la modélisation de la dispersion aux aéroports est donnée à l'Appendice 2.

5.4 ENTRÉES REQUISES POUR LES MODÈLES

5.4.1 Cette section donne des informations sur les variables nécessaires pour procéder à une analyse de la dispersion. Il s'agit d'un aperçu général qui aidera le lecteur à comprendre, mais les variables requises varieront selon la méthode de modélisation (simple, avancée, sophistiquée) et le modèle particulier employé. De plus, chaque aéroport étant unique, cette grande variabilité, les différences dans la disponibilité des données et le produit final désiré auront aussi pour résultat des ensembles de données différents pour chaque aéroport.

Renseignements sur les sources d'émissions

5.4.2 Un bref aperçu des informations qui seront nécessaires pour effectuer l'analyse de concentration est présenté dans cette section.

Sources d'émissions aéroportuaires

5.4.3 Les sources de pollution de l'air aux aéroports sont nombreuses et variées. Pour procéder à une modélisation de la concentration, pour chacune des sources étudiées, il faut connaître l'intensité d'émission de chacune des substances modélisées. Le Chapitre 3 donne une description détaillée des sources d'émissions que l'on trouve à un aéroport.

Considérations temporelles et spatiales pour l'aéroport (p. ex. voies de circulation, pistes, portes d'embarquement)

5.4.4 Lorsqu'il est procédé à un inventaire d'émissions, des attributions spatio-temporelles ne sont pas toujours nécessaires, et elles ne sont pas toujours faites. Elles sont cependant d'importance primordiale lorsqu'il s'agit de modéliser la dispersion, car des concentrations locales seront calculées. Ces concentrations locales dépendent de la distance par rapport à une source et de la durée de fonctionnement de celle-ci. Ceci n'exige pas seulement les données sur les émissions, mais aussi des détails explicites sur quand, où et comment les émissions se produisent. Il a été question au Chapitre 4 des variations spatiales et temporelles aux aéroports, à propos de la distribution des émissions.

5.4.5 La modélisation de la dispersion repose souvent sur des coordonnées cartésiennes (x, y, z), x et y étant les distances horizontales et z la distance verticale par rapport à un point de référence établi. Une pratique courante, pour faciliter le transfert sur cartes, est d'établir l'axe y positif en direction nord. Il faut une compréhension approfondie du fonctionnement de l'aéroport pour réaliser une modélisation détaillée de la dispersion (voir Chapitre 4). Pour toutes les méthodes à l'exception de la plus simple, il faudra établir les emplacements de toutes les sources (voir Chapitre 4) ; pour la modélisation de la dispersion, il faudra ajouter une nouvelle composante, le récepteur, comme on le verra au § 5.4.16. L'emplacement du récepteur devra être spécifié avec précision, de même que celui de la source, ce qui mène à l'emploi de coordonnées telles que le système de coordonnées cartésiennes. L'emplacement défini pour le récepteur détermine où la concentration sera prédite en utilisant les modèles de dispersion. C'est le plus souvent à des endroits de fréquente utilisation humaine. Certains modèles de dispersion sont basés sur des périodes spécifiques, car des changements se produisent au fil du temps dans leurs paramètres de dispersion après l'émission. Il s'agit souvent d'un paramètre interne, transparent pour l'utilisateur, et ce paramètre pourra être adapté, sur la base des sorties nécessaires, pour la comparaison avec les normes de qualité de l'air ambiant.

Facteurs d'émission

5.4.6 Des facteurs d'émission sont nécessaires pour déterminer le taux de rejet des émissions provenant de chaque source. Les facteurs d'émission sont spécifiques à la fois à la source et au polluant. Le lecteur est renvoyé à ce propos au Chapitre 3 pour une discussion complète des facteurs d'émission.

Météorologie

5.4.7 La météorologie est une entrée indispensable pour le calcul de la dispersion. Sans une entrée pour les conditions météorologiques locales, il ne serait pas possible de procéder à la modélisation de la dispersion, sauf dans les cas simples. Pour toute modélisation quelque peu poussée, il faut connaître les paramètres pour la couche limite planétaire. Comme dans le cas d'autres variables, le degré de sophistication du processus de modélisation peut varier, mais on trouvera ici une liste générale des besoins. De plus, l'Appendice 3 au présent chapitre donne une liste de quelques sources communes de ces données.

Données anémométriques

5.4.8 Dans tous les cas sauf le cas simple, la vitesse horizontale du vent (vecteur vent) ainsi que sa direction, générées par la composante géostrophique et modifiées par les caractéristiques de surface locales et d'autres paramètres, tel que le terrain, sont d'importance primordiale. Dans les approches avancée et sophistiquée, la climatologie locale devra être établie plus en détail et pourra inclure des données de vent à des altitudes multiples et/ou des gradients de vent à la verticale. Souvent, ces données historiques sont disponibles en provenance d'enregistrements existants (voir l'Appendice 3). La vitesse et la direction du vent varieront du fait des caractéristiques de la surface et de la topographie, des bâtiments locaux, de la couverture de la surface et d'influences de proximité, telles que de grandes étendues d'eau. Ces facteurs pourraient être pris en compte pour établir un champ de vent approprié, en fonction des exigences du modèle.

Turbulence et stabilité atmosphérique

5.4.9 La stabilité atmosphérique, que l'on peut définir simplement comme l'état de turbulence de l'atmosphère, a un effet significatif sur le taux de dilution des polluants. On parle de turbulence à propos de petits mouvements de l'atmosphère, généralement circulaires, dits tourbillons (*eddies*), dont la taille varie considérablement en fonction de la stabilité atmosphérique. De petits tourbillons peuvent cisailer le panache et causer un mélange avec l'air local tandis que les gros tourbillons ont tendance à déplacer le panache entier.

5.4.10 La turbulence peut être caractérisée de plusieurs manières, notamment par des méthodes empiriques (p. ex. classes de stabilité de Pasquill-Gifford, nombre de Richardson pour le flux, nombre de Richardson pour le gradient ou longueur de Monin-Obukhov). Chacune exige des entrées différentes, mais les renseignements météorologiques de base qui sont nécessaires sont la vitesse du vent selon la hauteur (cisaillement du vent), la température selon la hauteur (gradient thermique vertical), les fluctuations de vitesse du vent et les caractéristiques de la surface. La turbulence est souvent répartie en catégories : stable (le mélange vertical de polluants est entravé), neutre (le mouvement vertical de l'atmosphère n'est ni entravé ni favorisé) et instable (le mouvement vertical de l'atmosphère est favorisé).

Données sur la haute atmosphère

5.4.11 Dans l'analyse avancée ou complexe, il est reconnu que les conditions atmosphériques changent avec l'altitude. Pour prendre en compte ces changements, on emploie souvent des données météorologiques à plus haute altitude (jusqu'à quelques centaines de mètres) que les données de surface, bien que certains modèles puissent donner une approximation du changement avec la hauteur sur la base des données de surface et employer une paramétrisation de la couche limite. Si l'on emploie des données mesurées, elles proviennent de sondages acoustiques, de lâchers de ballons avec ensembles d'instruments et de comptes rendus d'aéronefs.

Température

5.4.12 La température ambiante a des effets sur la vitesse des réactions chimiques et peut être nécessaire dans l'approche sophistiquée. L'évolution de la température avec la hauteur (gradient adiabatique) peut être nécessaire pour les modèles, dans les approches avancée et sophistiquée, afin d'aider à déterminer la stabilité atmosphérique.

Couvert nuageux

5.4.13 Le couvert nuageux, qui a l'effet direct de modifier l'albédo, est souvent employé indirectement pour la stabilité atmosphérique dans l'approche avancée.

Paramètres dérivés (spécifiques à un modèle)

5.4.14 De nombreux paramètres peuvent être importants, en fonction du modèle choisi (p. ex. flux de chaleur sensible, vitesse de friction à la surface, échelle de vitesse convective, gradient de température potentiel à la verticale, longueur de Monin-Obukhov et rapport de Bowen). Souvent, ces paramètres peuvent être obtenus à partir des données météorologiques de base mentionnées plus haut. Les paramètres ne sont pas décrits ici, mais s'ils ne sont pas calculés directement par le modèle de dispersion choisi, l'utilisateur devrait veiller à bien les comprendre et à comprendre la manière de les obtenir.

Rugosité de surface

5.4.15 Les différents types de surfaces modifient les caractéristiques de frottement de la surface et influencent le profil du vent à la verticale ainsi que les caractéristiques de turbulence. Pour les aéroports, il s'agit souvent d'un relief plat végétalisé à proximité des pistes, mais il faudra déterminer l'emplacement et la hauteur de bâtiments tels que l'aérogare, les lignes d'arbres et, pour certains aéroports, les changements significatifs dans le profil de surface. Après cette détermination, on pourra employer des cartes pour déterminer la valeur du paramètre de rugosité de surface (z_0) à inclure dans le modèle. Le Tableau 5-1 montre un exemple de valeurs pouvant être choisies. Il est à noter qu'il s'agit d'un paramètre et non de la longueur réelle des objets sur la surface.

Tableau 5-1. Longueur de rugosité de surface, z_0 , pour surfaces typiques²

Description du terrain	z_0 (m)
Eau	0,0001
Prairies (hiver)	0,001
Prairies (été)	0,1
Terrains cultivés (hiver)	0,01
Terrains cultivés (été)	0,2
Marécages	0,2
Zone désertique à végétation arbustive	0,3
Forêt à feuilles caduques (hiver)	0,5
Forêt à feuilles caduques (été)	1,3
Forêt de conifères	1,3
Zone urbaine	1,0–3,0

Récepteurs

5.4.16 Un récepteur est un emplacement dans l'espace pouvant représenter une occupation humaine ou simplement un lieu d'intérêt. Les récepteurs peuvent aussi correspondre simplement à une grille préétablie d'une certaine taille, centrée sur un point de référence aéroportuaire établi. Des sites récepteurs aéroportuaires peuvent être définis sur l'aéroport ou à l'extérieur. Ces sites sont choisis en examinant l'aéroport et en portant un intérêt particulier aux endroits

2. D.B. Turner, *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates, An Introduction to Dispersion Modelling*, 2^e éd., Lewis Publishers, Boca Raton, FL., 1994.

où a lieu de l'activité humaine normale ou à d'autres endroits tels que des réserves naturelles. Le choix de sites récepteurs permettra d'obtenir en ces points des concentrations modélisées, qui seront utilisées pour déterminer l'incidence globale à cet endroit.

Concentrations de fond

5.4.17 Comme on l'a vu (Éq. 5-1), les concentrations de fond sont dues à des sources qui ne sont pas prises en considération pendant le processus de modélisation. Elles devront être ajoutées aux résultats du modèle, sur la base des polluants spécifiques dont il s'agit, pour obtenir la concentration totale d'un polluant quelconque. Les concentrations de fond sont générées par les axes routiers voisins, les industries, les activités commerciales, les aires résidentielles et le transport sur longue distance. Elles sont le plus souvent déterminées par des stations de mesure à long terme dans la zone considérée, les sources étant trop nombreuses pour être modélisées lors d'une évaluation aéroportuaire. La moyenne des concentrations contre le vent à l'aéroport est souvent employée et une attribution temporelle peut être effectuée pour tenir compte de changements au cours de la journée dans les autres sources locales. Selon le polluant, des pourcentages significatifs des concentrations globales (mesurées) pourront provenir de concentrations de fond parfois amenées sur grandes distances dans l'aire d'étude.

Chimie atmosphérique

5.4.18 Comme on l'a déjà vu, les polluants peuvent réagir dans l'atmosphère avec d'autres composants après leur émission par la source. Cela cause des changements dans les précurseurs et crée de nouveaux polluants. Ceci est particulièrement important pour les émissions des aéronefs, où il y a création de gaz secondaires et de polluants particuliers. Il s'agit d'une problématique avancée, qui sera le plus en souvent intégrée dans le modèle utilisé ou qui pourra être ignorée, selon la portée de l'étude. Les réactions chimiques sont toujours ignorées dans l'approche simple ici définie. Si la chimie atmosphérique n'est pas explicitement prise en considération, des ratios basés sur des données du passé pourront être appliqués ; il s'agit là de l'approche définie dans le présent document comme approche avancée. Le rapport de NO à NO₂, par exemple, est important. Des données historiques peuvent donner un rapport type, lequel pourra ensuite être appliqué à la prédiction de NO_x, c'est-à-dire (NO + NO₂) à l'aide de modèles, sans algorithmes chimiques. Si elle n'est pas établie par le modèle, une approximation de la spéciation des hydrocarbures pourra aussi être obtenue de cette manière en se basant sur la prédiction d'hydrocarbures totaux et sur des données historiques.

5.4.19 Les réactions chimiques se produisent à différentes vitesses et sont influencées par les concentrations ambiantes, le temps de transport et les conditions ambiantes, tout cela étant pris en considération dans l'approche sophistiquée. Le temps nécessaire à la réaction est différent pour chaque polluant, et il faudra tenir compte de la vitesse de réaction pour modéliser la dispersion des polluants réactifs.

5.5 CALCUL DE LA DISPERSION

5.5.1 L'Appendice 1 au présent chapitre donne un aperçu très général des méthodes de dispersion, tandis que l'Appendice 2 dresse une liste des modèles couramment utilisés pour l'analyse aéroportuaire. Comme il n'entre pas dans le propos de ce chapitre de donner des orientations détaillées sur l'emploi de ces méthodologies ou de ces concepts, le lecteur est renvoyé aux textes appropriés ou aux manuels utilisateur pour la méthode/méthodologie choisie. Les éléments fondamentaux des approches simple, avancée et sophistiquée sont décrits dans la présente section. Le choix de la méthode la plus appropriée pour l'analyse dépendra des données disponibles et de l'utilisation souhaitée des résultats.

Analyse et niveau d'effort

5.5.2 Lorsque l'analyste passe de l'approche simple à l'approche avancée, puis à l'approche sophistiquée, les besoins de données augmentent, ainsi que le temps nécessaire à l'analyse. Cependant, si les données d'entrée sont de bonne qualité, la précision s'accroît avec l'effort supplémentaire requis. L'approche simple devrait être de nature prudente, tandis que les approches avancée et sophistiquée donneront des résultats qui permettront une analyse des incidences plus réaliste. Le Tableau 5-2 montre quelles variables d'entrée peuvent être nécessaires selon que l'on choisit une approche simple, avancée ou sophistiquée. Les besoins exacts seront déterminés par le choix du modèle.

Tableau 5-2. Données d'entrée nécessaires selon l'approche adoptée

Paramètres clés	Approche simple	Approche avancée	Approche sophistiquée
Émissions	Comme décrit au Chapitre 3.		
Résolution spatiale	Pour le cas 1 (« rollback ») : pas de différenciation spéciale ; l'aéroport est considéré comme une seule « bulle d'émissions ». Pour le cas 2 (« pire des cas ») : très grande taille des mailles, avec utilisation d'un emplacement unique des sources, tel que les pistes.	Positions des récepteurs définies, avec résolution spatiale sur une grille à maille large (taille de la maille pas inférieure à 500 m).	Positions définies des récepteurs avec grille fine à taille de maille de 10 m × 10 m, mais pas plus de 500 m × 500 m.
Résolution temporelle	Total annuel.	Résolution mensuelle ou journalière.	Résolution horaire ou moindre.
Conditions météorologiques	Pas de données météo ou utilisations des valeurs par défaut : <ul style="list-style-type: none"> vitesse du vent 1 m/s ; direction constante du vent ; atmosphère très stable pour sources au niveau du sol ; pas d'utilisation de hauteur du panache pour prédire une concentration estimative prudente (dite souvent « pire des cas ») ; concentration calculée au récepteur ; hauteur de mélange non prise en compte. 	Prise en considération : <ul style="list-style-type: none"> données climatologiques pour paramètres multiples allant d'une moyenne horaire à une moyenne journalière ; turbulence comme paramètre unique (p. ex. classification de stabilité basée sur les considérations de vitesse du vent et de couvert nuageux) ; hauteur de mélange moyenne pour la zone généralement supposée être 914 m (3 000 ft). 	Prise en considération : <ul style="list-style-type: none"> données climatiques détaillées sur petite échelle temporelle, en incluant les données sur la haute atmosphère et certaines données de hauteur de mélange ; paramètres dérivés multiples, incluant des données supplémentaires (p. ex. le couvert nuageux et les gradients de température).
Rugosité de surface	Prise en considération du fait que toute l'aire est plate et gazonnée.	Prise en considération des éléments topographiques majeurs.	Prise en considération des éléments topographiques, de la couverture du sol et des bâtiments locaux.
Informations sur le récepteur	Emplacements généraux au niveau du sol.	Emplacements spécifiques au niveau du sol.	Emplacements spécifiques avec variations des emplacements à l'horizontale et à la verticale.
Concentration de fond	Non prise en considération ou valeur unique pour la zone aéroportuaire.	Valeur unique pour la zone aéroportuaire.	Prise en compte des considérations spatio-temporelles.
Chimie atmosphérique	Néant.	Ratios de transformation typiques (analytiques) à partir d'études établies.	Constantes détaillées de vitesse de réaction avec prise en considération des concentrations ambiantes locales des substances chimiques qui réagissent.

Note.— La désignation 1 dans l'approche simple se rapporte à l'approche du modèle « rollback » tandis que la désignation 2 se rapporte à une analyse prudente, souvent désignée comme analyse « pire des cas ».

5.5.3 Il est observé à nouveau que beaucoup de modèles ne tiendront pas compte de toutes les variables ou exigeront des informations très spécifiques ; c'est à l'analyste qu'il incombe de déterminer quelles variables un modèle exige.

Approche simple

5.5.4 L'approche simple peut être vue de deux façons distinctes :

- a) usage d'un modèle « rollback » dans lequel les données aéroportuaires sont absentes, à l'exception des changements généraux dans les opérations ;
- b) analyse simpliste « pire des cas ».

Comme au Chapitre 3 pour les émissions, l'approche simple n'est recommandée que lorsque l'on dispose seulement de données limitées ou pour des évaluations initiales.

Approche « Rollback »

5.5.5 L'approche « *rollback* », la plus simple, est celle qui exige le moins de données ; elle peut donc être exécutée très rapidement. Elle est aussi celle qui représente la plus grande erreur. Dans cette approche, qui n'est pas vraiment une modélisation de la dispersion, les émissions et concentrations connues sont mises à l'échelle selon les changements généraux dans les opérations aériennes. Cela suppose que toutes les autres sources grandissent ou diminuent au même taux que les opérations aériennes. L'équation 5-2 représente cette idée sous forme chiffrée :

$$\Delta_2 = \Delta_1(O_2/O_1) \quad \text{Éq. 5-2}$$

où :

Δ_2 = émissions totales ou concentration sur l'aire locale au moment 2 ;

Δ_1 = émissions totales ou concentrations sur l'aire locale au moment 1 ;

$O_{1,2}$ = opérations aériennes en CAD pour les moments 1 et 2, respectivement.

Analyse pire des cas

5.5.6 Dans cette analyse, la vitesse du vent est supposée être la plus petite valeur qui apporte des réponses raisonnables dans un modèle, généralement une constante de 1 m/s. Le vent est aussi supposé venir d'une direction produisant la plus grande concentration à l'emplacement du récepteur. La stabilité atmosphérique est considérée comme étant très stable pour les sources au niveau du sol et la hauteur de mélange n'est pas prise en considération. Les concentrations de fond sont supposées être une valeur unique prudente. L'usage de ces paramètres a pour résultat une analyse dite « pire des cas »; en réalité, les concentrations seraient rarement aussi élevées, si jamais elles le sont. Il est déduit de ces hypothèses qu'il n'y a pas d'incidence substantielle s'il n'est pas montré que des critères ou des normes sont dépassés dans cette estimation prudente où les concentrations prévues sont fort probablement à un niveau supérieur à ce qui se produirait normalement. On pourra employer des modèles simples, et cette méthode pourra ainsi être encodée dans une feuille de calcul (en employant par exemple la formulation gaussienne qui figure dans l'Appendice 1), ou employer des graphiques et des tableaux. Des modèles informatisés simples pourront aussi être employés. L'avantage

est qu'il faut seulement un petit ensemble de données et que les résultats sont rapides. L'inconvénient est une prédiction très prudente (*conservative*), qui surestime les incidences.

Approche avancée

5.5.7 Dans cette approche, il faut impérativement des modèles à codage informatique. L'organisme responsable de l'étude pourra imposer des modèles particuliers. Certains modèles sont en accès libre, tandis que des modèles exclusifs pourront être achetés. Chaque modèle aura son guide de l'utilisateur et la plupart auront un manuel technique s'adressant à l'analyste intéressé, qui devra bien étudier ce manuel et s'assurer de pouvoir obtenir les entrées nécessaires. Le vieil adage « *garbage in equals garbage out* » (la qualité des résultats sera fonction de la qualité des données à l'entrée) est très vrai dans ce cas : même pour le modèle le plus complet, le résultat sera seulement aussi bon que les données d'entrée qui auront été employées. Certains modèles peuvent inclure une interface utilisateur graphique (GUI) interactive, pour permettre d'introduire plus facilement les entrées. Sinon, il faudra créer des fichiers d'entrées. Certains modèles peuvent inclure les facteurs d'émission nécessaires (ou, dans le cas des aéronefs, des indices d'émission) pour faciliter aussi les entrées. Dans ce cas, l'inventaire d'émissions peut aussi être réalisé directement dans le modèle. Si ces renseignements ne sont pas inclus, l'inventaire d'émissions devra d'abord être réalisé en externe. L'attribution spatio-temporelle pourra se faire à la phase de l'inventaire d'émissions ou être différée jusqu'à l'analyse de dispersion.

5.5.8 Ces modèles peuvent être les mêmes que dans l'approche sophistiquée, les différences étant un plus grand usage de valeurs par défaut pour les variables d'entrée, des données opérationnelles moins complètes, des concentrations de fond qui ne varient pas, et un moindre degré de définition spatio-temporelle. Les entrées dans les modèles contiennent un grand nombre de valeurs « par défaut », valeurs typiques pour les aéroports mais qui ne sont pas des valeurs réelles pour l'aéroport défini. Des modèles typiques employés dans l'approche avancée pour la modélisation aux abords des aéroports sont notamment Open-ALAQS, AEDT/EDMS³, ADMS-Airport⁴ et LASPORT⁵.

Approche sophistiquée

5.5.9 Cette approche est celle qui exige le plus vaste effort de collecte de données pour définir les entrées. Les valeurs par défaut sont remplacées par des données réelles, spécialement en ce qui concerne les entrées météorologiques. Les données opérationnelles sont très complètes, avec une beaucoup plus grande emphase sur la résolution spatiale et temporelle. Les modèles peuvent être les mêmes que dans l'approche avancée, mais avec les données réelles et un beaucoup plus grand usage d'options. Les modèles typiques employés dans l'approche sophistiquée pour la modélisation aux abords des aéroports sont notamment les modèles Open-ALAQS, AEDT/EDMS, ADMS-Airport et LASPORT.

Approche hybride

5.5.10 Comme dans le cas des émissions, les trois approches de base peuvent être combinées en fonction des besoins et des données disponibles. L'approche simple, à cause des grandes simplifications qui sont faites, ne se prête pas à une telle approche hybride, sauf dans des situations très spéciales. Les approches avancée et sophistiquée sont souvent combinées. Cela est spécialement vrai lorsque le même modèle est utilisé d'abord avec un nombre élevé de valeurs d'entrées par défaut pour une évaluation de niveau élevé, et affiné ensuite pour permettre une modélisation plus détaillée.

3. EPA des États-Unis, AERMOD, AERMIC Dispersion Model, <http://www.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/mod-desc.txt> (consulté en juin 2020).

4. CERC, ADMS, <http://www.cerc.co.uk/environmental-software.html> (consulté en juin 2020).

5. Janicke Consulting, "LASPORT: A program system for the calculation of airport-induced pollutant emissions and concentrations in the atmosphere", <http://www.janicke.de/en/lasport.html> (consulté en juin 2020).

5.6 SORTIES DES MODÈLES

5.6.1 Chaque modèle a des sorties différentes mais certaines sorties sont communes à tous les modèles. La première est un fichier qui fait écho aux données d'entrée lors de l'emploi de modèles informatisés. C'est une composante importante de la sortie, car elle permet à l'utilisateur de vérifier les données d'entrée, pour :

- a) s'assurer de la précision des entrées ;
- b) s'assurer que le modèle a correctement interprété les entrées de données (ce qui est fort important pour les entrées à champ fixe) ;
- c) évaluer les paramètres issus du modèle, qui seront communiqués avec les entrées ;
- d) stocker les résultats et comprendre ensuite les entrées utilisées.

5.6.2 Les concentrations calculées sont la sortie la plus importante de tous les modèles, sous la forme d'une moyenne sur une certaine période (p. ex. moyenne annuelle ou série de moyennes journalières), éventuellement étayée par certaines statistiques (p. ex. centiles ou fréquences de dépassement), voire par des séries chronologiques complètes (p. ex. moyennes horaires à des points récepteurs donnés). Les unités dans lesquelles les concentrations sont exprimées seront généralement des parties par million (ppm) ou des microgrammes par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Dans le cas de particules, l'expression en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ est la seule valable. Les concentrations calculées ou prévues, y compris la concentration de fond, devraient ensuite être comparées aux normes ou critères de qualité de l'air ambiant, avec le cadre temporel et les unités appropriés.

5.6.3 Certains modèles peuvent inclure aussi des sorties graphiques pour aider à déterminer les aires qui posent problème ou à visualiser les changements, par exemple lors d'une modélisation d'atténuations. Dans l'approche sophistiquée, des paramètres dérivés multiples seront disponibles aussi dans les sorties.

5.7 APPLICATION DE LA MODÉLISATION ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

5.7.1 L'analyste devrait avoir conscience de la fidélité des résultats. Ceci dépend du modèle employé, de la précision des données d'entrée et des hypothèses qui pourraient avoir été appliquées.

Incertitudes dans la modélisation de la dispersion

5.7.2 Étant donné que les modèles de dispersion de la pollution atmosphérique vont de simples à très complexes, il y a de grandes différences de modèle à modèle dans l'incertitude. Hanna⁶ observe que l'incertitude de prévision totale du modèle est une combinaison de paramètres incluant les erreurs physiques du modèle, l'incertitude naturelle ou stochastique et les erreurs de données. Lorsque le nombre de paramètres s'accroît, l'incertitude naturelle ou stochastique diminue et la représentation de la réalité physique par le modèle s'améliore. Ceci mène à des modèles plus complexes et à une nécessité accrue de données d'entrée haute-fidélité. Cependant, lorsque le nombre de paramètres d'entrée s'accroît, les erreurs dans les données d'entrée peuvent augmenter. De médiocres données d'entrée pourraient aboutir à ce que les sorties du modèle le plus complexe soient égales, voire inférieures, à celles de modèles plus simplistes. De plus, des ajustements apportés à des modèles basés sur des ensembles limités de données pourraient entraîner des erreurs supplémentaires.

6. S.R. Hanna, "Plume dispersion and concentration fluctuation in the atmosphere," *Encyclopedia of Environmental Control Technology*, Volume 2, *Air Pollution Control*, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1989.

5.7.3 Cela rend extrêmement difficile une quantification de l'incertitude. Il est possible que des modèles fonctionnent bien pour la prévision d'occurrences maximales, mais soient de peu d'intérêt, comparativement à des mesures, lorsqu'il s'agit de tenter de prédire des concentrations dans le temps et dans l'espace.

5.7.4 Les valeurs limites et les résultats requis du modèle font souvent référence à des quantités statistiques telles que les centiles, à des moyennes sur longue durée telles que les moyennes annuelles ou à des concentrations maximales indépendantes de leur occurrence spécifique dans le temps ou de leur localisation exacte. Un modèle peut donner des résultats fiables en ce qui concerne ces quantités même s'il montre une piètre performance dans une comparaison point par point, par exemple avec une série chronologique mesurée à un endroit donné.

Vérification sur la base de mesures

5.7.5 Des modèles de dispersion complexes sont appliqués sous la forme de programmes informatiques. Dans la perspective de l'assurance qualité, il est nécessaire de vérifier et valider ces programmes. La vérification établit si le programme applique correctement la formulation mathématique (algorithmes) du modèle. Elle vérifie ensuite dans quelle mesure le modèle et le programme, respectivement, décrivent bien la réalité, généralement par comparaison avec des ensembles de données mesurés.

5.7.6 Il importe, pour la validation, que ces ensembles de données soient suffisamment complets, c.-à-d. que le test de validation puisse être exécuté avec le plus petit nombre d'hypothèses supplémentaires. Si des hypothèses sont nécessaires ou si des hypothèses ont été appliquées dans le modèle ou le programme, il importe de savoir si elles reposent sur des bases générales ou si elles sont ajustées, par exemple, à un aéroport particulier ou à une situation particulière. En ce qui concerne les données d'entrée, les modèles complexes sont généralement mieux à même de prendre en compte les détails pour un aéroport en particulier et sont donc plus souples pour la validation par rapport à des données mesurées.

Comparaison avec les normes et critères applicables

5.7.7 Le terme incidence a été employé tout au long de ce chapitre. Cela parce que les incidences sont le plus souvent évaluées en comparant des concentrations prévues à partir des modèles de dispersion aux normes et/ou aux critères, qui sont le plus souvent des moyennes de concentrations dans le temps, basées sur les effets sur la santé. L'emploi de ces normes a été abordé dans de précédents chapitres et on n'y reviendra pas ici. Il importe cependant de se rendre compte des liens qui existent entre la modélisation de la dispersion et l'évaluation des incidences. Les résultats issus de l'inventaire d'émissions ne permettent pas cette analyse des incidences directe. Il faut également prendre en considération le fait que, en général, c'est seulement en réalisant la modélisation de la dispersion de toutes les sources contributrices et en incluant toutes les concentrations de fond que l'on obtiendra des résultats directement comparables aux normes applicables. La modélisation des incertitudes devra encore être considérée pour ce qui est de rendre compte d'incidences directes.

Emploi de passages machine multiples lorsqu'une atténuation est envisagée

5.7.8 Les résultats tant de l'inventaire d'émissions que de l'analyse de dispersion pourront être utilisés à des fins d'atténuation. La grande différence, comme il a été noté dans la section précédente, c'est que les résultats de l'analyse de dispersion qui comparent le cas existant à de multiples scénarios futurs permettent l'évaluation de changements dans la concentration sur l'aire locale et, donc, de modifications des incidences sur la santé publique.

Avancées futures dans les modèles

5.7.9 À mesure que s'accroîtra la compréhension des émissions d'ensembles de sources aéroportuaires et de leur dispersion, les modèles seront améliorés pour tenir compte de ces avancées et les intégrer.

5.7.10 Outre le développement du modèle, une combinaison de modélisations à l'échelle micro (celles dont il est question ici) et à l'échelle régionale permettra d'évaluer les incidences à plus grandes distances de l'aéroport et de prendre en considération de manière plus détaillée les concentrations de fond à l'aéroport.

5.7.11 À mesure que des avancées se produiront, les organismes et les autorités aéroportuaires seront confrontés à la nécessité d'évaluer et de mettre en œuvre des pratiques de modélisation qui apportent la meilleure analyse d'impact pour l'aéroport. Il s'agit donc d'un domaine dynamique et des documents tels que celui-ci devront être réévalués au fil du temps, pour être actualisés s'il y a lieu.

Appendice 1 au Chapitre 5

APERÇU DES MÉTHODOLOGIES DE MODÉLISATION DE LA DISPERSION

1. La modélisation de la dispersion est une démarche scientifique relativement nouvelle, dont le développement se poursuit. Certains considèrent comme son point de départ une note publiée par Reynolds¹ en 1895, traitant de l'écoulement d'un fluide dans une conduite cylindrique rectiligne et montrant l'existence de deux régimes d'écoulement, laminaire ou turbulent. En 1915, une des premières notes sur la turbulence dans l'atmosphère a été publiée par Taylor², dont la théorie de la diffusion par la turbulence a apporté une base, en 1921, pour la description de la dispersion à diffusivité tourbillonnaire constante. Le développement s'est poursuivi et le livre de Pasquill³ « *Atmospheric Diffusion* » publié en 1962, résumant ce qui avait été fait jusqu'alors, était à la base des modèles gaussiens modernes de panaches, reposant sur la détermination expérimentale de l'étalement du panache à l'horizontale et à la verticale en fonction de la stabilité atmosphérique et de la distance, valeurs sigma maintenant bien connues qui concordent raisonnablement avec la théorie de Taylor.

2. Il existe différents types de méthodologies de modélisation de la dispersion pour un calcul de dispersion, avec des caractéristiques et des possibilités différentes. Dans les années 1960, les travaux sur la modélisation de la dispersion ont continué de se développer et de formaliser le processus de modélisation, y compris les considérations relatives à l'élévation des panaches. Cela a servi de base aux modélisations lagrangienne (axe de coordonnées mobile) et eulérienne (axe fixe) que l'on connaît aujourd'hui. Cette démarche scientifique est devenue une approche acceptée pour la prédiction des concentrations de polluants aux abords des aéroports, directement en rapport avec les incidences sur la santé publique et le bien-être. La performance de modélisation de la dispersion exige d'assembler avec soin les variables clés et différentes méthodologies ont été proposées à cette fin. On trouvera ci-après une brève description de chacune d'elles.

Formulation gaussienne

3. La formulation gaussienne est, maintenant encore, plus employée que toute autre. Cette approche lagrangienne, supposant que la dispersion sous le vent soit fonction de la classe de stabilité et de la distance sous le vent, applique la fonction gaussienne de densité de la probabilité pour prendre en compte les méandres et la diffusion du panache. Elle a été rendue publique sous diverses formes à la fin des années 1960 par l'EPA des États-Unis dans la série UNAMAP et des développements se poursuivent dans le monde. Applicable à des panaches ou à des bouffées individuellement, elle offre ainsi la souplesse nécessaire pour la modélisation de la qualité de l'air locale. Elle a été adaptée pour des sources ponctuelles, linéaires ou étendues. Sous sa forme de base de source ponctuelle, pour un panache, la concentration (c) est prédite selon l'expression mathématique suivante :

-
1. Reynolds, O. "On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Volume 186*, 1895, pp. 123-164 (doi:10.1098/rsta.1895.0004).
 2. Taylor, G.I. "Eddy motion in the atmosphere". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Volume 215*, 1915, pp 1-26 (10.1098/rsta.1915.0001).
 3. F. Pasquill, *Atmospheric Diffusion: the dispersion of windborne material from industrial and other sources*, D. Van Nostrand Company Ltd. Londres, 1962.

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2}\right) \right\} \quad \text{Éq. 5-A1-1}$$

où :

- Q = débit de la source ;
 u = vitesse du vent ;
 H = hauteur de la colonne (*stack*) ;
 σ_y, σ_z = coefficients de dispersion à l'horizontale et à la verticale.

4. Il est à noter que x , distance sous le vent, est implicitement inclus dans les coefficients de dispersion à l'horizontale et à la verticale, qui augmentent avec la distance sous le vent.

5. Des formulations plus récentes du modèle gaussien ont utilisé une distribution bi-gaussienne à la verticale pour mieux prendre en compte le mélange vertical dans des conditions de convection. Il en résulte plus d'exactitude, mais aussi un modèle plus complexe.

Diffusivité turbulente basée sur la formulation de la conservation de la masse

6. Dans cette approche eulérienne, la solution approximative des équations régissant la conservation de la masse est utilisée avec des hypothèses simplificatrices établissant une relation entre les flux turbulents $\langle u'c' \rangle$ et les gradients de concentration, $\partial c / \partial x_i$ en incluant un terme, K_i , pour la diffusivité turbulente. Il en résulte que :

$$\langle u'c' \rangle = -K_i \left(\frac{\partial c}{\partial x_i} \right) \quad \text{Éq. 5-A1-2}$$

Cette approche est utilisée pour des polluants dont la distribution est large ou uniforme, lorsque de grands panaches individualisés ne sont pas dominants. Cela se produit pour des polluants tels que le monoxyde de carbone. Cette approche a été appliquée dans la modélisation régionale sous la forme :

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + u_x \frac{\partial c_i}{\partial x} + u_y \frac{\partial c_i}{\partial y} + u_z \frac{\partial c_i}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial c_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial c_i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial c_i}{\partial z} \right) \quad \text{Éq. 5-A1-3}$$

$$+ R_i(c_1, c_2, \dots, c_n) + E_i(x, y, z, t) - S_i(x, y, z, t)$$

où :

- u_x, u_y, u_z = vitesse ;
 c_i = concentration de la i^{e} espèce ;
 R_i = taux de génération chimique de l'espèce i ;
 E_i = flux d'émissions ;
 S_i = flux d'élimination.

Modèle de la boîte

7. Le modèle de la boîte est une représentation mathématique simpliste d'un volume d'air défini, bien mélangé (la boîte), incluant des entrées dans le volume et des sorties. La boîte étant bien mélangée, la concentration de sortie est équivalente à la concentration à l'intérieur. Des boîtes multiples peuvent être employées à l'horizontale ou à la verticale, la sortie d'une boîte représentant l'entrée de la suivante dans une approche en grille. Il est possible de considérer les réactions chimiques dans chaque boîte. Cela permet que la formulation de la conservation de la masse soit utilisée pour chaque boîte dans cette méthode eulérienne.

Modèles de trajectoire

8. Ces modèles, basés sur l'approche lagrangienne, offrent une solution approximative en utilisant les équations principales de conservation de la masse et un système de coordonnées se déplaçant avec la vitesse moyenne du vent. Cette approche implique un maintien raisonnable de l'intégrité des particules d'air pendant la durée d'une simulation sur modèle et suppose négligeables le cisaillement du vent à l'horizontale, les diffusions turbulentes à l'horizontale et le transport advectif à la verticale. Il s'agit de modèles dont l'utilisation générale n'est pas toujours acceptée pour les applications réglementaires aux États-Unis.

Modèles de masse et de quantité de mouvement

9. Dans ce type de modèle, les équations qui régissent la masse et la quantité de mouvement sont appliquées en utilisant des principes de premier ordre. L'approche peut commencer, par exemple, par l'équation fondamentale de Navier-Stokes et inclure la turbulence sur la base d'un calcul de moyenne de Reynolds. Le résultat est plus rigoureux scientifiquement, avec des procédures complexes évitant la simplification de la théorie K, mais qui sont souvent intensives en informatique et en données et spécifiques à un cas particulier. C'est pourquoi cette catégorie de modèles a tendance à être plutôt orientée vers la recherche que d'usage courant.

Modèles lagrangiens de dispersion de particules

10. Contrairement aux modèles gaussiens, basés sur une solution analytique de l'équation de dispersion classique, et aux modèles eulériens, qui résolvent l'équation numériquement, les modèles lagrangiens de dispersion de particules simulent le processus de transport lui-même.

11. Sur l'énorme nombre de particules (gaz, aérosols, poussières) généralement émises par une source, seul un petit échantillon représentatif sera considéré. La taille de l'échantillon est généralement de l'ordre de quelques millions de particules, selon le problème et les ressources informatiques disponibles. La trajectoire de chacune de ces particules est calculée sur l'ordinateur par un processus stochastique (processus de Markov en espace de phase). À partir de ces trajectoires, on calcule la distribution de la concentration, non stationnaire et tridimensionnelle, en fonction du temps.

12. Le cœur d'un modèle lagrangien de dispersion de particules, comme spécifié par l'exemple dans le guide VDI 3945/3 anglais/allemand, voir www.vdi.de, ne contient pas de paramètres modulables. Il se base sur des paramètres météorologiques qui peuvent être déterminés sans expériences de dispersion. Les échelles temporelles varient généralement de quelques minutes à un an, avec une résolution temporelle pouvant descendre à quelques secondes ; les échelles spatiales vont de quelques mètres à une centaine de kilomètres.

13. Une recherche accrue et l'application à la physique de l'atmosphère ont commencé il y a une trentaine d'années, et les modèles lagrangiens de dispersion de particules sont devenus plus largement utilisés avec l'accroissement de la rapidité des ordinateurs et des capacités de stockage. Cette technique est aujourd'hui couramment appliquée pour le contrôle de la qualité de l'air.

Approche de panache en grille

14. Cette méthode est un hybride entre les approches lagrangienne et eulérienne. On adapte l'approche eulérienne en utilisant des modèles de trajectoire ou des techniques de dispersion gaussiennes pour préserver les concentrations d'espèces traces afin de surmonter les carences concernant le mélange instantané de polluants dans la grille.

Modèles de fermeture

15. Dans les modèles eulériens, il faut s'occuper de la diffusion à la verticale. Deux schémas différents de fermeture de la turbulence sont généralement employés : fermeture locale ou non locale. La fermeture locale suppose que la turbulence soit semblable à une diffusion moléculaire, tandis que la fermeture non locale suppose que le flux turbulent soit similaire à des quantités moyennes à différentes couches, un échange de masse étant permis. Les modèles de fermeture sont souvent discutés en termes de modèles de premier ordre lorsqu'il s'agit d'équations de prévision pour les variables moyennes (par exemple vent ou température) ou de modèles d'ordre supérieur, plus complexes. Ce type de modélisation est étroitement lié aux modèles de diffusivité tourbillonnaire décrits plus haut.

Modèles statistiques

16. Cette approche, basée sur l'analyse statistique de mesures des polluants ambiants et d'autres informations sur les émissions, sera utilisée au mieux lorsque l'on dispose de renseignements détaillés sur les sources, étant donné qu'avec ces modèles il y a des difficultés d'application des résultats lorsque les paramètres d'emplacement changent. Un sous-ensemble de ce type de modélisation est la modélisation du récepteur, qui a été utilisée aux États-Unis et au Royaume-Uni pour la prévision des particules. La modélisation du récepteur emploie des méthodes statistiques à variables multiples pour identifier et quantifier la ventilation des polluants atmosphériques entre leurs sources.

17. En résumé, cette liste partielle de procédures est destinée à servir de toile de fond pour la discussion de la modélisation de la dispersion, en permettant à l'analyste de mieux comprendre le processus.

Appendice 2 au Chapitre 5

MODÈLES DE DISPERSION COURAMMENT UTILISÉS AUX ABORDS DES AÉROPORTS

1. Il ne s'agit pas dans cet appendice de recommander un modèle de dispersion particulier ni de donner des renseignements détaillés sur un modèle, quel qu'il soit. Il est attendu de l'analyste qu'il choisisse le modèle le plus approprié sur la base des exigences législatives, des données disponibles et de l'usage prévu.
2. Le Tableau 5-A2-1 montre des progiciels de modélisation de la dispersion couramment employés aux aéroports. Il est à noter que de nombreux modèles sont utilisés et que le tableau ne les comprend pas tous.
3. Ce qui est évident dans tous ces progiciels de modélisation, c'est qu'aucune méthode de modélisation ne répond entièrement à tous les besoins en la matière, spécialement si l'on considère le coût, l'aspect pratique et la complexité. Il en résulte que soit des modèles multiples sont utilisés et choisis au cas par cas, soit les entrées pour le modèle choisi sont simplifiées/adaptées.
4. Lorsqu'il s'agit de choisir le modèle de dispersion approprié, l'analyste devrait examiner avec soin les exigences législatives, les sources à modéliser, les entrées nécessaires pour un certain modèle et les limites de tout modèle.

Tableau 5-A2-1. Modèles de dispersion couramment employés aux aéroports

<i>Modèle de qualité de l'air aéroportuaire</i>	<i>Type fondamental de modèle de dispersion</i>	<i>Information sur le modèle</i>
AEDT/EDMS	Bi-Gaussien	Parrainé par : États-Unis Développeur du modèle : FAA
ADMS-Airport	Bi-Gaussien	Parrainé par : Royaume-Uni Développeur du modèle : CERC
Open-ALAQS	Bi-Gaussien/Lagrangien	Parrainé par : France Développeur du modèle : EUROCONTROL
LASPORT	Lagrangien	Parrainé par : Allemagne et Suisse Développeur du modèle : Janicke Consulting

Appendice 3 au Chapitre 5

SOURCES D'INFORMATIONS CLIMATOLOGIQUES

1. La modélisation de la dispersion utilisant l'approche avancée ou l'approche sophistiquée exige des données météorologiques détaillées. Il convient de faire preuve de prudence dans le choix de ces données. Des données sur courte durée pourraient ne pas refléter exactement les tendances et n'être pas représentatives des variations saisonnières, des configurations des vents dominantes ou des variations diurnes.
2. Selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM) « plus de 10 000 stations météorologiques de surface, habitées ou automatiques, 1 000 stations d'observation en altitude, 7 000 navires, 100 bouées captives et 1 000 bouées dérivantes, des centaines de radars météorologiques et plus de 3 000 avions commerciaux spécialement équipés mesurent chaque jour les paramètres essentiels de l'atmosphère, de la surface terrestre et de la surface des océans¹. » Des informations sont disponibles pour de nombreuses années et des bases de données ont été établies dès avant 1950.
3. Le *World Data Centre System for meteorology*, avec 52 centres dans 12 pays, représente un nombre énorme de stations de surveillance dans le monde (http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS_5.php).
4. Différents pays peuvent aussi conserver les données climatologiques nécessaires pour une région ou un pays. Il s'agit notamment du *British Atmospheric Data Centre*² au Royaume-Uni et des *National Centers for Environmental Information* (NCEI)³ aux États-Unis. Les NCEI, par exemple, possèdent des données de surface, des données d'altitude et d'autres informations utiles directement téléchargeables, en de multiples formats. Les dossiers historiques sur de nombreuses années, aidant à éviter des erreurs dues à des paramètres d'entrée incorrects sont importants. Des données allant des années 1800 à nos jours sont disponibles pour plus de 8 000 lieux aux États-Unis et 15 000 stations dans le monde, selon les données nécessaires.
5. On trouve aussi des données climatologiques dans de nombreuses universités à travers le monde, et elles offrent souvent des données uniques pour une région. Il est suggéré que l'analyste explore cette possibilité d'obtenir des informations.

1. « Observations », Organisation météorologique mondiale (OMM), <https://public.wmo.int/en/our-mandate/what-we-do/observations>, (consulté en juin 2020).

2. <http://www.ecn.ac.uk/links/link-items/british-atmospheric-data-centre> (consulté en juin 2020).

3. <https://www.ncdc.noaa.gov/> (consulté en juin 2020).

Chapitre 6

MESURE DE LA QUALITÉ DE L'AIR AMBIANT POUR LES AÉROPORTS

6.1 INTRODUCTION

Les aéroports sont un élément important de l'infrastructure économique des villes qu'ils desservent ; l'activité passagers et fret à un aéroport répond aux besoins locaux de transport aérien. Au sein de cette infrastructure, cependant, les aéroports attirent de nombreux types d'activités qui contribuent à la pollution de l'air dans la zone locale : aéronefs, automobiles, matériel de servitude au sol, sources stationnaires, etc. C'est souvent face à des objectifs et besoins divers que les aéroports et/ou les autorités locales cherchent à obtenir une compréhension des effets des sources de polluants liées aux aéroports sur la qualité de l'air locale. Il existe des outils de modélisation, mais certains sites aéroportuaires tentent de quantifier les émissions liées à l'aéroport en procédant à des mesures réelles de l'air, qui devront être conformes aux protocoles de mesure appropriés. Le présent chapitre décrit les divers éléments pour les mesures de qualité de l'air ambiant aux aéroports.

6.2 BESOINS ET INCITATIONS À AGIR POUR DES MESURES DE QUALITÉ DE L'AIR

6.2.1 Le Chapitre 2 de ce manuel décrit le cadre réglementaire général en matière de qualité de l'air locale et les facteurs qui incitent l'aviation à fournir des informations ou à prendre des dispositions relatives à la qualité de l'air. En ce qui concerne expressément les mesures de qualité de l'air ambiant, de nombreux besoins et facteurs influent sur la nécessité de procéder à de telles mesures aux aéroports. Ces mesures sont souvent exécutées pour respecter des obligations légales, au titre de programmes volontaires ou pour la vérification de modèles.

6.2.2 **Respect d'obligations.** Pour se conformer aux réglementations applicables sur la qualité de l'air ambiant et aux normes ou objectifs connexes pour certains polluants, les aéroports et, à certains endroits, les autorités locales peuvent être obligés de procéder à des mesures de l'air ambiant. Un aéroport ou une autorité locale peut aussi avoir l'obligation de procéder à des mesures régulièrement ou non (p. ex. pour une évaluation de base ou dans le contexte de projets d'agrandissement).

6.2.3 **Programmes volontaires.** Les préoccupations du public et des collectivités, par exemple, entraînent souvent la nécessité de mesures pour obtenir des renseignements réels sur la qualité de l'air au voisinage des aéroports. Autrement, un aéroport pourrait procéder volontairement à des mesures et communiquer les résultats dans le cadre de leurs activités de politique et de gestion de l'environnement.

6.2.4 Outre les préoccupations du public et des collectivités, de nouvelles hypothèses ou preuves scientifiques pourraient suggérer de lancer des campagnes de mesure aux aéroports ou à leurs abords pour rechercher des éclaircissements ou obtenir plus d'informations.

6.2.5 **Vérification de modèles.** Les résultats d'un modèle sont parfois calibrés avec des résultats mesurés pour déterminer si un modèle peut caractériser les conditions existantes avec un certain degré de confiance. Une fois qu'un certain modèle aura été vérifié pour les conditions de base, il pourra être utilisé avec plus de confiance pour prédire avec

précision des scénarios futurs. Ceci est particulièrement important lorsqu'un aéroport envisage certaines initiatives (p. ex. développement de l'infrastructure) et doit analyser leur incidence potentielle ou d'éventuelles dispositions d'atténuation.

6.2.6 La principale mise en garde à formuler à propos de la vérification des modèles a trait au fait que le modèle prédit habituellement des concentrations provenant d'une ou plusieurs sources d'émissions, mais pas nécessairement de toutes les sources contributrices. Il pourrait être difficile, en ce cas, de comparer des concentrations modélisées aux valeurs mesurées, et il faudra appliquer des procédures complexes pour effectuer réellement des vérifications de modèles.

6.3 PLAN DE MESURE

Processus de conception d'un plan de mesure

6.3.1 Le plan de mesure pour des mesures de qualité de l'air locale ou régionale est déterminé par des besoins extérieurs et/ou internes et par la disponibilité des ressources nécessaires. Les éléments principaux ci-après d'un plan de mesure devraient être abordés (voir aussi la Figure 6-1) :

- a) objectifs et besoins en matière de mesures (décrits au § 6.2) ;
- b) facteurs extérieurs ;
- c) emplacements de mesure (par rapport aux installations aéroportuaires) ;
- d) méthodes de mesure ;
- e) planification de la gestion.

6.3.2 S'agissant des besoins externes, les aéroports peuvent avoir un objectif unique ou des objectifs multiples pour l'exécution de mesures, entre autres le désir d'obtenir des informations factuelles sur les concentrations réelles à des emplacements spécifiques de récepteurs, à des fins de communication ou pour établir une analyse de tendances à long terme afin d'observer l'évolution de la qualité de l'air aux sites de mesure comme suite aux développements en matière d'émissions.

Facteurs extérieurs

6.3.3 Les facteurs extérieurs essentiels à prendre en considération dans les mesures de qualité de l'air ambiant sont les normes, recommandations et directives qui pourraient exister. Si une documentation-cadre, locale ou nationale, relative aux mesures de qualité de l'air ambiant est applicable, praticable ou disponible, il convient de l'utiliser. Cela peut aller de questions générales telles que les principes de mesure ou l'assurance qualité jusqu'à des systèmes de mesure prescrits qu'il s'agit de mettre en place.

6.3.4 Dans certains cas, les aéroports devront assumer la responsabilité des mesures de qualité de l'air et en supporter le coût. À cette fin, les ressources, les compétences techniques et le budget disponibles pourront être des facteurs déterminants de l'ampleur possible des mesures de qualité de l'air.

6.3.5 Si un réseau de surveillance de la qualité de l'air opéré par les autorités locales ou d'autres entités est déjà en place, il est à conseiller de coordonner, voire d'harmoniser, les plans de mesure qui pourraient exister afin d'éviter que des mesures semblables ou identiques ne fassent double emploi ou d'éviter les incohérences, voire les contradictions.

Emplacements de mesure

6.3.6 Les objectifs et besoins décrits au § 6.2 aideront à déterminer l'emplacement des stations de surveillance. Un plan générique, mais typique, de sélection de sites est présenté sur la Figure 6-2, chaque emplacement étant décrit et justifié dans le Tableau 6-1. Ce plan pourra varier d'un aéroport à un autre en fonction de l'utilisation des terrains, des infrastructures et du développement régionaux réels.

6.3.7 Il convient d'effectuer des mesures de l'air contre le vent et sous le vent par rapport à l'aéroport/aux sources aéroportuaires, tout en s'efforçant de réaliser une discrimination de la distribution des sources pour laquelle il faudra définir les emplacements les plus susceptibles d'être dominés par une source d'émissions particulière, alors que d'autres sources pourraient ne contribuer que marginalement aux concentrations globales.

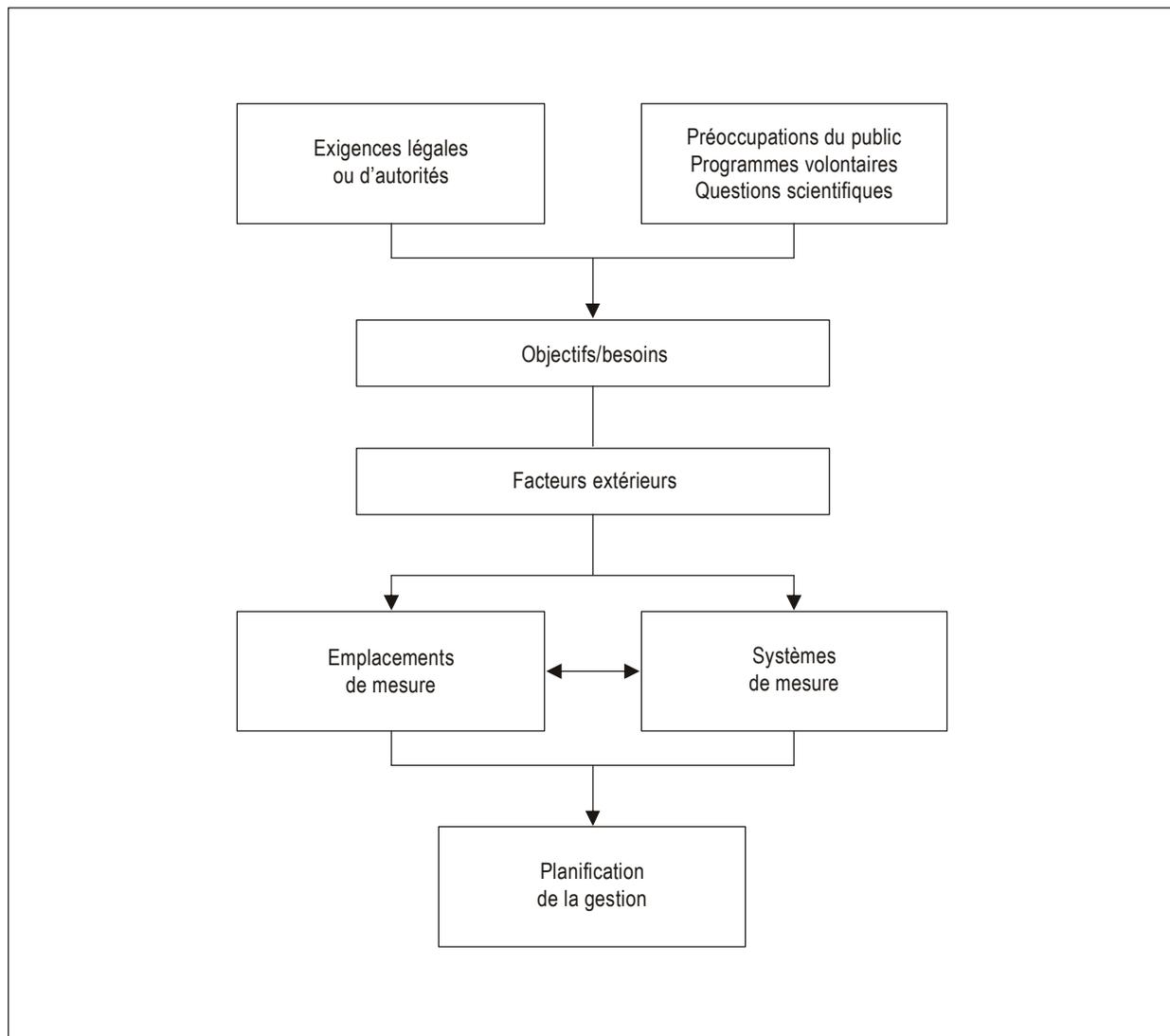


Figure 6-1. Éléments d'un plan de mesure

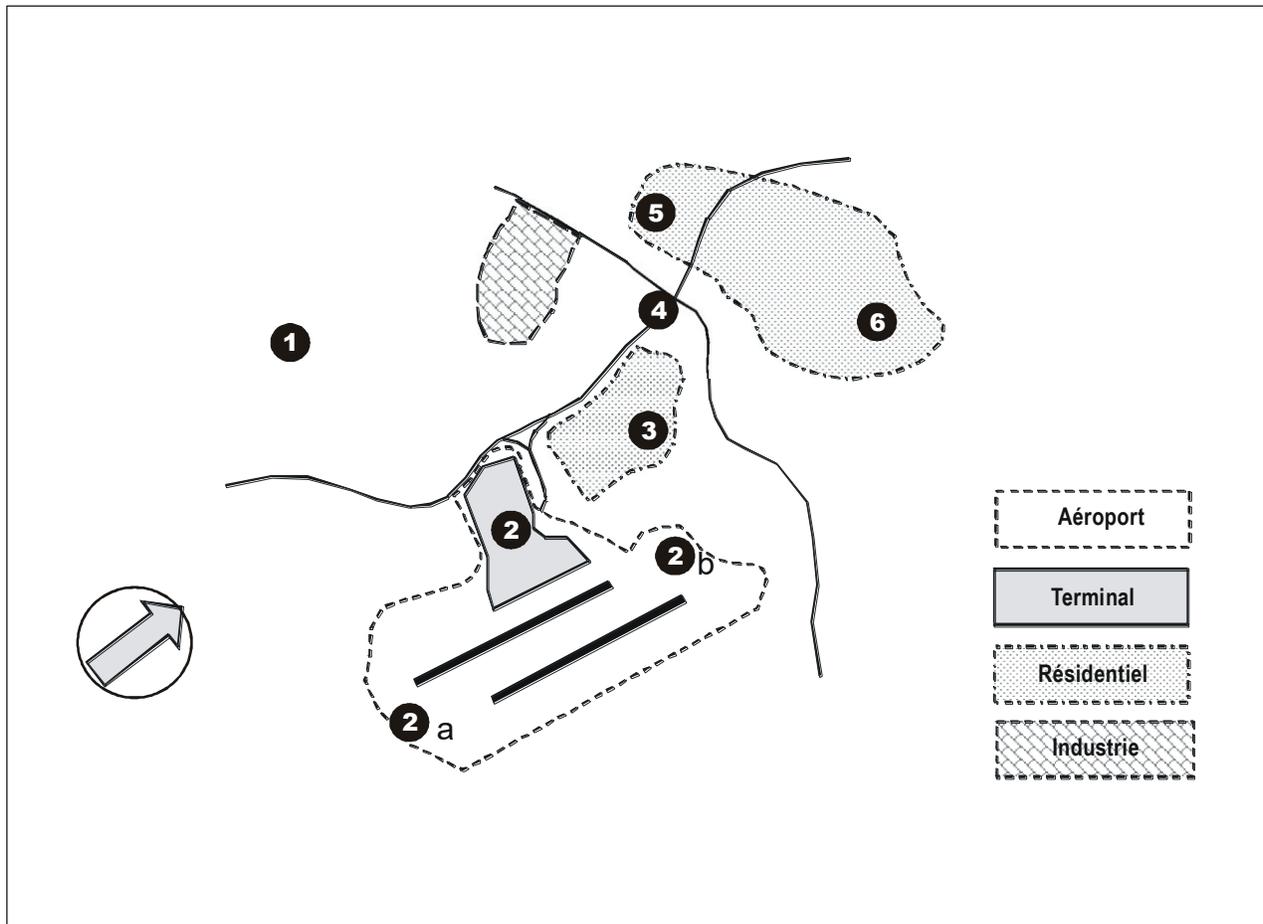


Figure 6-2. Plan générique de sélection de sites de mesure
(flèche dans un cercle : direction du vent dominant)

6.3.8 Les questions suivantes sont associées au choix des emplacements de mesure :

- a) Quelles sont les concentrations de pollution actuelles (passées) des espèces pertinentes à proximité de l'aéroport ?
- b) Les incidences induites par l'aéroport peuvent-elles, au moins à un certain degré, être isolées ?
- c) Quelle est la tendance des concentrations de pollution ?

6.3.9 En choisissant les emplacements à l'aéroport et à ses abords au vu des contributeurs dominants les plus probables à la pollution, il peut être possible d'estimer qualitativement la pertinence des incidences du trafic aérien et des incidences induites par l'aéroport.

Tableau 6-1. Description de sites de mesure génériques

Numéro (tiré de la Figure 6-2)	Description du site	Justification
1	Site de la concentration de fond, non perturbé par des activités polluantes.	Cette station apporte les données de base et de référence pour la région où l'aéroport est situé.
2	Toutes les stations (y compris 2 a et 2 b) sont situées dans la zone de l'aéroport où les activités aéroportuaires sont intenses. En option, les stations sont situées directement face au vent et sous le vent (et latéralement) par rapport aux pistes, souvent à la limite de l'aéroport.	Il peut être attendu que ces stations soient très probablement celles qui refléteront le mieux les activités aéroportuaires (aéronefs et/ou assistance et infrastructure). Ces activités domineront les concentrations de pollution, et les modifications significatives de la concentration seront probablement causées par ces sources.
3	Cette station est située dans une zone résidentielle sous le vent par rapport à l'aéroport, mais sans source d'émissions dominante à proximité.	Cette station donnera la situation moyenne d'une zone résidentielle avec habitations permanentes au plus près de l'aéroport et sous le vent par rapport à lui. Une attribution de sources ne serait peut-être pas possible, mais n'est pas nécessaire.
4	Cette station est située près d'un axe routier majeur, mais néanmoins à proximité de l'aéroport.	Le trafic routier est en général une importante source d'émissions. Cette station reflète les incidences du trafic routier sur la qualité de l'air locale aux abords de l'aéroport. Il n'est pas établi de distinction entre le trafic aéroportuaire et tout autre trafic.
5	Cette station est située dans une autre zone résidentielle, mais sous le vent par rapport à une zone industrielle avec émissions.	Les zones résidentielles pourraient encore être soumises à des concentrations accrues. Dans ce cas, il importe de distinguer les sources d'émissions non liées à l'aéroport mais qui pourraient avoir une incidence sur des zones proches de l'aéroport.
6	Cette station est plus éloignée de l'aéroport, mais à nouveau située dans une zone résidentielle sous le vent par rapport à l'aéroport.	Il peut être attendu que les concentrations diminuent plus loin sous le vent par rapport à l'aéroport, pourvu qu'il n'y ait pas d'autres sources d'émissions significatives.

Méthodes de mesure

6.3.10 Il existe diverses méthodes de mesure qui peuvent aller de simples (en termes de sites de localisation et de traitement) à sophistiquées. Le choix de chaque instrument devra être fait en fonction des exigences de mesure, dont la définition repose sur l'analyse des exigences du client ou de l'autorité, lorsqu'elle n'est pas imposée par la loi. Le risque d'aboutir à un résultat erroné lors de la comparaison à un seuil devra en tout cas être discuté et accepté par toutes les parties.

6.3.11 La principale différence entre systèmes de mesure est qu'ils peuvent être actifs (le système recueille et analyse en continu des échantillons d'air) ou passifs (l'air ambiant réagit avec le système et les résultats sont obtenus à distance). Le Tableau 6-2 discute les deux approches dans la perspective des différents paramètres à prendre en considération lors de l'évaluation de systèmes de mesure.

Tableau 6-2. Systèmes de mesure actifs et passifs

Paramètre	Système actif	Système passif ¹
Systèmes possibles	<p>Chemin optique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • DOAS (Spectroscopie à absorption optique différentielle) <p>Point continu :</p> <ul style="list-style-type: none"> • TEOM (Microbalance oscillatoire à élément biseauté) • Moniteur de masse à bêta-atténuation • Échantillonneurs de grands volumes • Chimiluminescence 	<p>Sacs/récipients</p> <p> Tubes à diffusion passive</p> <p>Filtres en papier</p>
Polluants à mesurer	Il est généralement possible de mesurer dans une station des polluants multiples (p. ex. NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀) en utilisant plusieurs analyseurs à un même endroit.	En général, un seul polluant peut être mesuré. Certains polluants ne pourront pas du tout être mesurés (réactivité).
Analyse	Les échantillons d'air sont généralement analysés directement dans la station et lorsqu'ils sont échantillonnés.	Les échantillons sont généralement analysés à distance, en laboratoire et après la collecte.
Intervalles de mesure	Selon l'équipement, les intervalles de mesure peuvent être courts, p. ex. les échantillons peuvent être analysés toutes les quelques secondes ou quelques minutes.	Les intervalles sont généralement longs (p. ex. intervalles de deux semaines) ou les mesures ne sont effectuées qu'une seule fois.
Précision de mesure	La précision des données obtenues est généralement assez élevée, pourvu que les systèmes soient bien installés et entretenus.	La précision des données mesurées est passable. Pour les analyses de tendances ou analyses comparatives avec un assez grand nombre de sites, elle peut cependant être suffisante.
Exigences du site	Le site de mesure exige un emplacement sans obstacles (pour l'écoulement de l'air), une chambre abritée pour l'équipement et les analyseurs et l'accès à l'électricité. Selon les systèmes, des lignes de communication pour les opérations à distance peuvent aussi être nécessaires. Certaines restrictions d'accès devraient s'appliquer. Un tel système peut aussi être mobile pour des campagnes de mesure.	Le site de mesure exige un emplacement non obstrué (pour l'écoulement de l'air). L'installation du système de mesure ne demande qu'une infrastructure limitée (pas d'abri, pas d'électricité).
Maintenance	Un niveau d'entretien accru sur les parties électriques/électroniques et de précision est nécessaire pour obtenir et maintenir un niveau fiable de fonctionnalité. Cela peut inclure l'étalonnage ou le changement régulier de pièces d'importance critique.	Il y a généralement peu d'activités d'entretien parce qu'il n'y a pas, ou pratiquement pas, de pièces électriques/électroniques ou de haute précision.
Coût	Moyen à élevé (immobilisations) et moyen (maintenance).	Faible (immobilisations et maintenance).

1. Bioindicateurs/bioaccumulateurs : Cette catégorie est plutôt un hybride d'un système actif et d'une exposition de longue durée. Une description limitée est donnée à l'Appendice 1 au présent chapitre.

6.3.12 Lorsque l'on considère des sites possibles en combinaison avec les systèmes de mesure, il peut être conclu que les sites aéroportuaires peuvent être équipés de systèmes actifs et/ou passifs, tandis que les mesures de qualité de l'air dans la région aéroportuaire devraient être exécutées au moyen de systèmes passifs.

Planification de la gestion

6.3.13 Un important élément de la mesure de la qualité de l'air ambiant est d'assurer qu'il soit dûment tenu compte de la mise en œuvre et de l'exécution réelle. À cette fin, plusieurs éléments devront être abordés, définis et documentés dans la planification de la gestion, en particulier :

- a) responsabilité du projet ;
- b) maintenance ;
- c) gestion des données ;
- d) communication ;
- e) assurance qualité et contrôle de qualité.

6.3.14 La responsabilité du projet inclut, sans s'y limiter, la rédaction du concept de mesure, l'obtention du budget nécessaire pour l'acquisition, l'installation, le fonctionnement et l'entretien du matériel de mesure, l'organisation de la gestion des données (évaluation, vérification, stockage) et la gestion d'éventuels contrats avec des tiers. Elle définit les rôles et les responsabilités de toutes les parties intervenantes.

6.3.15 La maintenance englobe tous les éléments de l'entretien ordinaire et préventif du matériel de mesure, les réparations ainsi que la planification en vue d'éventuelles situations d'urgence par la disponibilité de matériel de réserve. Elle couvre aussi l'étalonnage du matériel selon les instructions du fabricant ou les directives et recommandations générales.

6.3.16 La gestion des données comprend leur acquisition (automatique ou manuelle), leur stockage et leur transfert (p. ex. depuis des stations télécommandées). Une fois obtenues les données brutes, elles seront soumises à une vérification de qualité qui devra être prédéfinie ; les données inappropriées seront alors identifiées et marquées ou éliminées de la série de données. Selon le système d'acquisition des données et l'intervalle d'évaluation et de communication requis, il pourrait être nécessaire d'agréger les données dans un intervalle différent (valeur horaire p. ex.).

6.3.17 Une fois les données disponibles pour l'interprétation appropriée, il peut y avoir des exigences de communication et/ou de publication. Des comptes rendus de mesure, imprimés ou électroniques, publics ou à diffusion restreinte, pourront être produits et distribués. De plus, la communication aux autorités ou aux acteurs locaux pourra être préalablement définie.

6.3.18 Pour assurer la qualité à long terme des données mesurées, il est recommandé d'établir un processus d'assurance qualité portant sur tous les éléments qui influencent la qualité des données. Un tel système de contrôle qualité est élaboré et mis en œuvre pour s'assurer que le niveau requis de confiance dans le système et dans ses résultats est réalisé.

6.4 ANALYSE DES DONNÉES

Introduction

- 6.4.1 Les données de mesure de l'air ambiant peuvent avoir divers usages, tels que :
- a) description des conditions existantes dans une aire ou sur un site et démonstration du respect, ou non, des normes de qualité de l'air ambiant ;
 - b) détermination des variations horaires, journalières, mensuelles et saisonnières ;
 - c) détermination de tendances spatiales et temporelles ;
 - d) identification des principales sources contribuant aux concentrations mesurées.
- 6.4.2 Les possibilités d'utilisation des données dépendront :
- a) des polluants ou constituants spécifiques qui ont été mesurés ;
 - b) de la durée (jours, semaines, mois ou années) des mesures ;
 - c) de la résolution temporelle des mesures (secondes, minutes, heures, ou plus longue) ;
 - d) du nombre et de l'emplacement des sites de surveillance utilisés pour recueillir les mesures ;
 - e) des données météorologiques (p. ex. vitesse et direction du vent).

Description de conditions existantes ou respect de normes en matière de qualité de l'air ambiant

6.4.3 La surveillance de la qualité de l'air ambiant est la méthode traditionnelle pour démontrer qu'une zone respecte actuellement les normes applicables de qualité de l'air. Il faut souvent mener une surveillance pendant un à trois ans avant qu'il soit officiellement déterminé qu'une zone atteint une norme, ou non, et que cette zone soit ainsi désignée. Les instances de réglementation ont défini comment les données pourront être utilisées pour comparer les résultats surveillés aux normes de qualité de l'air.

6.4.4 La surveillance sur un ou plusieurs sites à proximité d'un aéroport fournit des informations concernant la qualité de l'air locale au voisinage de cet aéroport. Ces données pourront être utilisées pour définir les conditions existantes ou les conditions de référence dans un document d'information environnementale pour un projet. Étant donné que les normes de qualité de l'air incluent la période de calcul de la moyenne, période qui peut atteindre un an pour certaines normes, il faudra mener la surveillance pendant la période appropriée pour la norme à laquelle les données seront comparées. Une surveillance plus longue pourra être nécessaire si la norme est basée sur un nombre limité de mesures, qui pourra être dépassé sur un certain nombre d'années.

Déterminer les variations périodiques

6.4.5 Des variations périodiques peuvent donner certains indices sur les sources pouvant contribuer aux concentrations mesurées. Des caractéristiques de « pointe » sont associées à chaque source d'un aéroport. Le trafic de surface régional, par exemple, présente souvent une période de pointe du matin ou du soir en rapport avec le travail. Les vols présentent souvent des pointes distinctes. L'accès des véhicules au sol à un aéroport peut présenter une pointe

60 à 90 minutes avant et après la pointe des opérations aériennes. Si l'on dispose de données faisant l'objet d'une surveillance horaire, et si ces données montrent des pointes de concentration de polluants correspondant dans le temps aux périodes de pointe, le trafic est vraisemblablement un contributeur majeur aux valeurs mesurées. Il est à noter que cela suppose que l'on considère un polluant relativement inerte (tel que CO, PM₁₀ ou NO_x totaux).

6.4.6 Les variations peuvent aussi se produire selon le jour de la semaine ou le mois de l'année ou être saisonnières. Elles peuvent aider à mettre en évidence les sources ou les types de sources qui peuvent être des contributeurs substantiels aux concentrations mesurées. Il est à noter cependant que les variations périodiques peuvent aussi être associées à des effets météorologiques tels que la température, la hauteur de mélange ou l'humidité relative, qui modifient réellement les émissions de polluants provenant des sources. Les sources liées à la combustion, par exemple, produisent plus de NO_x et moins de CO lorsque la température de l'air ambiant est plus élevée, ce dont résultent aussi bien des fluctuations horaires diurnes que des variations saisonnières.

6.4.7 Un exemple typique de variation dépendant de la source est la concentration de pollution des aéronefs. Il peut y avoir des aéroports qui ont un trafic nettement saisonnier (destination de sports d'hiver), voire de fins de semaine. Un exemple typique de variation correspondant aux conditions météorologiques est celui d'un groupe électrogène d'aéroport qui opère toute l'année à des conditions de charge assez régulières.

Analyses de tendances

6.4.8 L'analyse de gradient spatial utilise des mesures de l'air ambiant effectuées à de multiples endroits pour un seul polluant pour identifier et localiser les sources d'émissions qui contribuent aux mesures.

6.4.9 L'analyse de séries chronologiques utilise des mesures de l'air ambiant à de multiples endroits pour un seul polluant pour identifier les patterns de concentrations de ce polluant dans le temps.

6.4.10 La collecte de données sur longue durée (plusieurs années) à un certain endroit peut apporter des informations sur les tendances générales dans les émissions de pollution. Dans de nombreuses zones où sont en place des programmes continus de lutte contre la pollution, la tendance à long terme montre des réductions constantes, avec le temps, des concentrations de polluant mesurées.

Répartition entre sources

6.4.11 La répartition entre sources est l'emploi de concentrations surveillées ou modélisées, avec ou sans données météorologiques, pour déterminer les sources, types de sources et/ou emplacements des sources qui contribuent substantiellement aux valeurs mesurées. Les analyses de gradient spatial et de séries chronologiques évoquées plus haut sont des méthodes possibles de répartition des sources. D'autres méthodes reposent sur le bilan massique chimique ou la factorisation matricielle positive.

6.4.12 Lorsque des données de surveillance sont employées pour déterminer les sources qui contribuent aux mesures, on parle de « modélisation du récepteur ». Les données du récepteur (station de surveillance) sont analysées soit avec les données de vitesse et de direction du vent, soit avec les profils et caractéristiques supposés des émissions de types de sources, pour cerner les informations concernant quelles sources ou quels types de sources génèrent les émissions mesurées à la station.

6.4.13 Des mesures en un point ne permettent pas de distinguer entre les différentes sources contributrices, à moins qu'il ne soit possible d'isoler une substance trace émise uniquement en provenance d'une certaine source. Il importe donc de procéder à une modélisation conjointement avec les mesures pour estimer la contribution de chacune des sources ou de chacun des groupes de sources (p. ex. un aéroport).

Données manquantes

6.4.14 Des directives locales ou nationales énoncent généralement les conditions dans lesquelles des séries chronologiques mesurées sont valables. Pour des mesures sur longue durée (p. ex. annuelle), un nombre maximum de jours sans données est permis sans que des dispositions particulières soient prises. Au-delà de cette tolérance, des lacunes mèneraient à des séries de mesures ou à des périodes de calcul de moyennes non valables. Les données obtenues pourront être utilisées pour information, mais ne pourront pas l'être pour satisfaire à des obligations juridiques de compte rendu ou comme justification pour des programmes d'atténuation. Lorsque de telles directives le permettent, les données manquantes pourront être insérées par interpolation. Dans tous les cas, les lacunes dans les données devraient être clairement documentées.

6.4.15 Une interpolation d'un ou plusieurs points de données manquantes pourra être effectuée en consultant une période de mesure valide provenant d'une station proche avec conditions météorologiques comparables et en utilisant de façon correspondante la variation dans les points de mesure. Si des données ont été obtenues par interpolation, elles devront en tout cas être marquées comme telles.

6.5 ASSURANCE QUALITÉ/CONTRÔLE DE QUALITÉ DES MESURES

Directives sur la gestion de la qualité

6.5.1 L'un des principaux objectifs de la gestion de la qualité est de donner confiance dans l'exactitude des mesures pour éviter les critiques lors de la communication des résultats. Le processus de gestion de la qualité aidera à réduire l'incertitude en optimisant les performances de l'équipement ainsi que les capacités des techniciens. De plus, les résultats de la surveillance devront être aisément disponibles ; ils devront être traçables, bien identifiés, documentés et uniques en temps et lieu.

6.5.2 Il existe un certain nombre de directives qui comprennent, sans s'y limiter, des spécifications de fabricants, des directives locales ou nationales ou des normes internationales [Organisation mondiale de normalisation (ISO)]. La norme ISO 9001, qui fait référence en matière de gestion de la qualité, traite des processus d'organisation des informations sur les mesures à la satisfaction des clients. L'ISO 17025, basée sur la même organisation et le même objectif de gestion de la qualité que l'ISO 9001, et spécialement créée pour les activités de mesure, ajoute l'évaluation de la capacité technique ; elle est beaucoup plus contraignante que l'ISO 9001.

Compétence technique

6.5.3 Un important facteur pour assurer la qualité des mesures est la compétence et l'expertise du personnel qui les effectue. Celui-ci devra donc acquérir des compétences techniques suffisantes pour tous les éléments de la surveillance de la qualité de l'air (installation de l'équipement, fonctionnement, entretien et réparations) et du traitement des données (obtention, stockage, validation et interprétation). Le niveau de formation requis devrait être défini à l'avance et documenté.

6.5.4 Pour assurer le niveau d'expertise requis, on pourra établir un programme de formation comprenant formation interne et externe, p. ex. par le fabricant de l'équipement ou les autorités environnementales. Cela est particulièrement vrai pour des instruments d'analyse complexes, en présence de technologies qui changent fréquemment. Il est recommandé de documenter tous les programmes de formation (p. ex. selon l'ISO 9001). Les programmes de formation devront être répétitifs.

Précision de l'équipement

6.5.5 Les procédures en matière d'entretien nécessaire (préventif), y compris la périodicité, doivent être prescrites par le fabricant du matériel. L'entretien préventif du matériel doit être programmé régulièrement afin d'assurer une performance optimale lors du fonctionnement, en particulier pendant la surveillance continue et la communication des données. L'entretien préventif pourrait comprendre, par exemple, le nettoyage, le remplacement de certaines pièces d'équipement, et les actualisations de logiciels. Toutes les activités de maintenance devront être programmées et documentées. Les constats après l'exécution de chaque entretien devraient aussi être documentés.

6.5.6 L'étalonnage du matériel, étape nécessaire et importante, a pour but d'assurer la précision des mesures dans la fourchette donnée pour ce matériel. Il doit être effectué à intervalles réguliers et prédéfinis après chaque entretien préventif et chaque réparation. Si du matériel ou des substances d'étalonnage supplémentaires sont utilisés (p. ex. gaz de référence), ils devront avoir une assurance ou certification de qualité (p. ex. date d'expiration pour les gaz de référence). Une température et une humidité contrôlées peuvent être nécessaires pour certains étalonnages et il faut les respecter. Tous renseignements concernant l'étalonnage du matériel devront être inscrits dans un journal de bord.

6.5.7 En dépit de tout l'entretien et de tous les étalonnages, certaines incertitudes pourraient subsister. Il importe de comprendre l'ampleur de cette incertitude et le niveau d'incidence qu'elle pourrait avoir sur les valeurs mesurées globales, pour déterminer le degré de fidélité des données finales. Une étude de l'incertitude pourrait aider à déterminer les divers facteurs et leur pertinence pour les mesures ambiantes et pourrait aussi suggérer des façons de réduire au minimum l'incertitude des données.

Traitement des données

6.5.8 Selon le mode de surveillance, un grand volume de données brutes pourrait être compilé au fil du temps, ce qui exige une certaine gestion des données. Il faudra décider s'il est nécessaire de conserver aussi bien les données brutes que les données traitées, et sur quelle période. Une façon de procéder suggérée serait de conserver les données brutes pendant une période d'au moins dix ans, tandis que les données traitées (validées, totalisées, etc.) pourraient être conservées plus de dix ans.

6.5.9 Le stockage des données exigera un processus de maintenance, consistant par exemple à recopier les données d'un médium à un autre et à vérifier en même temps par recoupement les anomalies dans les données (données manquantes ou falsifiées). Ce processus de gestion des données devra aussi être documenté.

Accréditation et certification

6.5.10 Des vérifications périodiques devront être effectuées pour s'assurer de la bonne application des procédures de gestion. Des auditeurs internes pourraient être recrutés parmi les employés et être formés pour cette activité.

6.5.11 Même si des sociétés extérieures ont un système qualité établi et tenu à jour, encore faut-il que le client (aéroport, par exemple) ait confiance dans ce système. À cette fin, la norme minimale actuelle est une norme ISO 9001. En outre, la norme ISO 17025, expressément adaptée à l'activité de mesure, combine la gestion de la qualité basée sur les directives ISO 9001 avec une focalisation claire sur les capacités du technicien, ce qui est la meilleure manière d'assurer la confiance du client.

Appendice 1 au Chapitre 6

DESCRIPTION D'UNE SÉLECTION DE MÉTHODES DE MESURE

1. SYSTÈMES ACTIFS

Spectroscopie à absorption optique différentielle (DOAS)

1.1 Avec le système DOAS il est possible d'obtenir des mesures automatiques le long d'un parcours avec une haute résolution. Le principe est basé sur l'absorption, en fonction de la longueur d'onde, de la lumière causée par les gaz. L'équipement DOAS inclut un émetteur et un récepteur. Un faisceau lumineux dont la longueur d'onde est comprise entre 200 et 700 NM est projeté de l'émetteur vers le récepteur et passe à un analyseur via un câble à fibre optique. Sur le parcours, certains gaz absorberont la lumière provenant de parties connues du spectre. Cela permet que l'ordinateur de l'analyseur mesure les gaz au moyen d'un spectromètre, dans lequel un dispositif (*grater*) divise progressivement la lumière dans les différents spectres. Le spectre qui en résulte est alors comparé à un spectre de référence, et le calcul de la différence donne un polynôme. Des calculs supplémentaires permettront de déterminer le spectre d'absorption différentielle et, finalement, la concentration d'un certain gaz. Ces mesures individuelles seront réduites à des valeurs sur trente minutes. Ce système peut être employé pour une gamme de polluants qui inclut le dioxyde d'azote, l'ozone et le dioxyde de soufre.

Microbalance oscillatoire à élément biseauté (TEOM)

1.2 La méthode TEOM, qui permet de déterminer la fraction de PM₁₀ dans des poussières, est basée sur le principe que la fréquence d'un filtre oscillatoire change avec l'accroissement de la masse. Il s'agit de prélever des échantillons d'air de volume connu, qui passent à travers un filtre au sommet du dispositif d'échantillonnage, où toutes les particules de taille supérieure à 10 µm sont séparées. L'échantillon d'air passe ensuite à travers un deuxième filtre sur lequel se déposent les particules dont la taille est inférieure à 10 µm. La concentration de PM₁₀ est calculée à partir des changements de la fréquence d'oscillation du filtre. Les mesures individuelles sont ramenées à des valeurs sur trente minutes.

Moniteur de masse à atténuation du rayonnement bêta (BAM)

1.3 Le BAM est un dispositif de surveillance pour les PM₁₀ et PM_{2,5} qui est plus rustique et moins coûteux que la méthode TEOM et a obtenu une certification de l'EPA des États-Unis (EFQM-0798-122) comme méthode équivalente à la méthode standard pour la surveillance des PM₁₀ et PM_{2,5} de l'air ambiant. La méthode BAM, qui utilise une source stable de carbone radioactif (¹⁴C, 60 uCi), mesure l'atténuation du rayonnement bêta par les particules déposées sur un matériau filtrant et établit la relation entre l'atténuation et la masse déposée sur le filtre. Les niveaux de PM₁₀ et de PM_{2,5} sont mesurés séparément, grâce au discriminateur de taille des particules situé avant le dispositif de collecte par filtrage.

Analyseur de NO_x

1.4 L'analyseur de NO_x est utilisé pour mesurer la concentration de NO₂. Il prélève deux échantillons d'air. Le premier flux ne subit aucune réaction chimique, tandis que le second passe par un convertisseur qui réduit le NO₂ en NO. Les deux échantillons sont analysés pour le NO dans une même cellule de réaction, où est mesurée la chimiluminescence que produit la réaction entre NO et O₃. L'instrument mesure alternativement les NO_x totaux et le NO. La différence entre les deux lectures donne une valeur calculée de NO₂ dans l'air ambiant.

Analyseur d'O₃

1.5 Dans l'analyseur d'O₃, deux échantillons d'air sont recueillis. Le premier passe par un catalyseur qui convertit l'O₃ en O₂. Le second passe directement dans une cellule d'absorption (mesure de référence). Un détecteur mesure la quantité de rayonnement ultraviolet (UV) transmise. La concentration en O₃ est calculée à partir des deux valeurs de référence. L'intervalle de mesure est de 30 minutes.

Conclusions

1.6 Les analyseurs automatisés permettent la mesure continue, automatisée, en ligne et à résolution temporelle des polluants atmosphériques, en produisant des mesures à haute résolution des concentrations horaires de polluants ou, mieux, des concentrations en un certain point. L'inconvénient majeur d'une méthode telle que la méthode DOAS, est le coût élevé qu'impliquent l'achat et l'entretien des analyseurs. Il peut donc en résulter une faible densité du réseau et une faible résolution spatiale des mesures. Des laboratoires mobiles équipés d'analyseurs automatisés constituent une application utile de cette technique comme outil pour des programmes de mesure couvrant plusieurs lieux d'intérêt.

2. SYSTÈMES PASSIFS

Tubes de diffusion

2.1 Les tubes de diffusion sont la façon la plus simple et la moins coûteuse d'évaluer la qualité de l'air locale en termes de polluants gazeux ; ils peuvent être employés pour donner une indication générale des concentrations moyennes de pollution sur de longues périodes, d'une semaine ou plus. Ils sont le plus couramment utilisés pour le dioxyde d'azote et le benzène (souvent avec toluène, éthyl-benzène, m+p-xylène et o-xylène comme BTEX), mais sont également utiles pour mesurer un certain nombre d'autres polluants tels que 1,3-butadiène, ozone et dioxyde de soufre.

2.2 Il s'agit généralement d'un petit tube (taille tube à essai), normalement en acier inoxydable, verre ou plastique inerte ; une extrémité contient un tampon de matériau absorbant et l'autre extrémité est ouverte pendant un temps d'exposition fixé. Après cette exposition, les tubes sont scellés puis envoyés à un laboratoire où ils seront analysés par différentes techniques, incluant des processus chimiques, spectrographiques et chromatographiques.

2.3 Il est à noter que l'utilisation de tubes de diffusion est une technique de surveillance indicative qui n'offre pas la même précision que les analyseurs automatiques, de plus haute technicité. De plus, comme les périodes d'exposition peuvent être de plusieurs semaines, les résultats ne peuvent pas être comparés à des normes et objectifs en matière de qualité de l'air basés sur de plus courtes périodes de calcul des moyennes, telles que des normes horaires. Pour la même raison, les tubes de diffusion ne permettent pas de détecter des pointes. Même s'ils peuvent être utilisés pour des évaluations sur courte période, il est donc recommandé que la surveillance du NO₂ au moyen de tubes de diffusion, en particulier, soit effectuée sur une année entière, car des évaluations par rapport à des objectifs de concentration moyenne annuelle seront alors possibles.

2.4 Les tubes de diffusion peuvent être affectés par des paramètres susceptibles d'être cause de sur-lecture ou de sous-lecture par rapport à une mesure de référence, raison pour laquelle la meilleure pratique est d'employer au moins trois tubes à chaque point de surveillance et de co-implanter un ensemble avec un moniteur continu de référence existant. Tout biais pourra ainsi être corrigé par rapport au moniteur continu (p. ex. moniteur chimiluminescent pour NO₂), et la comparaison entre les tubes mettra en évidence toute anomalie.

2.5 Il importe de bien choisir les sites pour la surveillance au moyen de tubes de diffusion, et la surface entourant l'emplacement des tubes devrait permettre la libre circulation de l'air autour d'eux, tout en évitant les zones de turbulence supérieure à la normale, tels les coins de bâtiments. Pour la mesure des polluants, on prendra soin d'éviter les surfaces qui pourraient agir comme absorbeurs locaux, et il convient pour cette raison de ne pas fixer les tubes de diffusion directement sur des murs ou d'autres surfaces plates. D'autres sources ou puits localisés tels que les conduits de calorifères, orifices de sortie de conditionneurs d'air ou événements d'extracteurs, ainsi que les arbres ou autres zones de végétation dense, sont également à éviter.

2.6 Le relativement faible coût des tubes de diffusion signifie que l'échantillonnage est réalisable à un nombre de points significatif sur une vaste superficie, ce qui peut être utile pour mettre en évidence des tendances relatives et aussi des zones de hautes concentrations, où des études plus détaillées pourront ensuite être effectuées. Dans ces circonstances, le coût et la difficulté d'utilisation d'une surveillance continue, plus exacte, pour réaliser la même étude se révéleraient assurément prohibitifs.

Sacs/contenants

2.7 Pour cette technique de mesure, on recueille un échantillon d'« air complet » sur des sites de mesure sélectionnés en introduisant un échantillon de l'air ambiant dans un certain contenant. Le plus souvent, cela pourrait être un sac, un bulbe de verre, une « bombe » en acier ou un contenant en acier inoxydable. Les contenants en acier inoxydable et les sacs sont les systèmes de collecte les plus courants. La collecte d'un échantillon d'air peut être améliorée au moyen d'une petite pompe électrique, qui remplit activement le contenant avec l'échantillon d'air ambiant.

2.8 Une fois le gaz recueilli dans le contenant, il est procédé à son analyse hors-site par différentes méthodes (p. ex. en employant la chimie des solutions). Les composants de l'air ambiant mesurés sont souvent diverses espèces d'hydrocarbures.

2.9 Les questions de qualité des données tournent habituellement autour de la récupération des contaminants en provenance du contenant dans lequel l'échantillon a été recueilli. Celle-ci est fonction de plusieurs paramètres, notamment la nature chimique du contaminant, les propriétés de la surface du contenant, la pression de vapeur du contaminant, l'influence de divers autres composés de la matrice, et la possibilité d'utiliser au départ un contenant exempt de contamination.

Conclusions

2.10 Les méthodes d'échantillonnage passif sont simples et d'un bon rapport coût-efficacité, ce qui permet une analyse fiable de la qualité de l'air, donnant une bonne indication des concentrations de pollution moyennes sur une période de plusieurs semaines ou plusieurs mois. Il existe d'autres méthodes, notamment l'utilisation de barboteurs (*bubblers*) pour les polluants gazeux et l'analyse des métaux lourds que contient le filtrat de particules en suspension.

3. AUTRES MÉTHODES

Indicateurs biologiques

3.1 Les indicateurs biologiques, ou bio-indicateurs, sont des espèces végétales ou animales fournissant des informations sur les changements écologiques dans les conditions spécifiques à un site, sur la base de leurs réactions de sensibilité à des effets environnementaux. Les bio-indicateurs peuvent donner des signes de problèmes environnementaux imminents, tels que la pollution de l'air et de l'eau, la contamination des sols, les changements climatiques ou la fragmentation des habitats. Ils peuvent aussi fournir des informations concernant l'effet intégré de diverses conditions de stress environnemental et leurs effets cumulatifs sur la santé d'un organisme, d'une population, d'une collectivité et/ou d'un écosystème. Des espèces de lichens sont un bio-indicateur couramment employé pour la qualité de l'air.

3.2 Il existe diverses méthodes d'investigation sur les espèces indicatrices, et les effets de bioaccumulation peuvent être étudiés au niveau des organismes individuellement. Au niveau d'une population, il est possible de procéder à des études sur les changements morpho-physiologiques, les changements dans les cycles biologiques, la santé relative des populations, et la structure des populations et des communautés. Le marquage et la recapture, l'établissement de ratios selon l'âge et le sexe, ainsi que les études (*point*, *line*, *plot* ou *plotless*) du couvert végétal et des fréquences des végétaux sont des exemples des méthodes de terrain écologiques qui sont employées.

3.3 Les données obtenues à partir des méthodes de mesure traditionnelles permettent de contrôler la conformité aux normes en vigueur en matière de qualité de l'air. Les données sur les concentrations ambiantes de polluants ne permettent cependant pas de tirer des conclusions directes concernant les incidences potentielles sur les humains et l'environnement. Des preuves d'effets nocifs peuvent être apportées avec plus de précision si l'on utilise des bio-indicateurs. Ceux-ci intègrent aussi les effets de tous les facteurs environnementaux, y compris les interactions avec d'autres polluants ou avec les conditions climatiques. Cela permet d'évaluer les risques de mélanges de polluants complexes ou d'effets chroniques qui pourraient se produire même au-dessous de valeurs seuil.

3.4 L'emploi de plantes bio-indicatrices pour évaluer les effets de la pollution de l'air n'est pas très bien établi. L'insuffisante standardisation des techniques, et donc la faible comparabilité des résultats, est une des principales raisons de la faible acceptation de cette méthodologie de surveillance de la qualité de l'air.

Appendice 2 au Chapitre 6

EXEMPLES DE MÉTHODES DE MESURE

Tableau 6-A2-1. Exemples de méthodes de mesure (Europe et États-Unis)

Polluant	Méthode de référence	Autres méthodes
Dioxyde de soufre	Fluorescence ultraviolette	DOAS
Dioxyde d'azote et oxydes d'azote	Chimiluminescence	DOAS
PM ₁₀	Gravimétrie	TEOM (avancée) accumulation bêta bande adhésive (simple)
PM _{2,5}	Gravimétrie	
Plomb	Gravimétrie	
Monoxyde de carbone	Corrélation de filtres gazeux Spectroscopie infrarouge non dispersive (UE)	
Ozone	Photométrie ultraviolette	DOAS

Appendice 3 au Chapitre 6

RÉFÉRENCES (SÉLECTION)

Aéroport de Paris — Charles de Gaulle, « Campagne de Prélèvement de Dioxyde d'azote par Tubes Passifs », 2006.

Carslaw, D.C. et al., “Detecting and quantifying aircraft and other on-airport contributions to ambient nitrogen oxides in the vicinity of a large international airport,” *Atmospheric Environment*, 40, 2006, pp. 5424–5434.

Chow et al., “PM2.5 chemical composition and spatiotemporal variability during the California Regional PM₁₀/PM_{2.5} Air Quality Study (CRPAQS),” *Journal of Geophysical Research*, Vol. 111, D10S04, 2006.

Environmental Protection Agency, EPA’s ambient air quality measurements guidance.

Fanning, E. et al., “Monitoring and Modelling of Ultrafine Particles and Black Carbon at the Los Angeles International Airport, Final Report,” ARB Contract No. 04-325, prepared for the California Air Resources Board and the California Environmental Protection Agency, Sacramento, CA, 2007.

Federal Aviation Administration, *Aviation Emissions and Air Quality Handbook*, Version 3, Update 1 FAA-AEE-2014-12, http://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/airquality_handbook/media/Air_Quality_Handbook_Appendices.pdf (consulté en juin 2020).

Henry, R.C. et al., “Locating nearby sources of air pollution by nonparametric regression of atmospheric concentrations on wind direction,” *Atmospheric Environment* 36, 2002, pp. 2237–2244.

Henry, R.C., “Locating and quantifying the impact of local sources of air pollution,” *Atmospheric Environment* 42, 2008, pp. 358–363.

Henry, R.C., “Receptor Modelling,” *Encyclopaedia of Environmetrics*, A.H. El-Shaarawi and W.W. Piegorisch (eds.), John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, 2002.

RWDI, “Air Quality Study: Phase 4 — Ambient Air Quality Monitoring,” Toronto Pearson International Airport, Toronto, Ontario, Canada, 2003.

Unique (Flughafen Zürich AG), “Air Pollution Monitoring,” Concept and Description, 2007, www.zurich-airport.com (consulté en juin 2020).

Yu, K.N. et al., “Identifying the impact of large urban airports on local air quality by nonparametric regression,” *Atmospheric Environment* 38, 2004, pp. 4501–4507.

Watson, J.G. et al., “Air Quality Measurements from the Fresno Supersite,” *Journal of Air and Waste Management Association*, 50, 2000, pp.1321–1334.

www.heathrowairwatch.org.uk (consulté en juin 2020).

Chapitre 7

OPTIONS EN MATIÈRE D'ATTÉNUATION

7.1 INTRODUCTION

7.1.1 La nécessité d'établir des plans d'atténuation prévoyant des mesures spécifiques peut découler d'obligations réglementaires existantes en matière de qualité de l'air ambiant, en particulier lorsque des normes sont dépassées, ou de réglementations ou conditions établies dans des permis d'exploitation et/ou d'agrandissement d'aéroports.

7.1.2 Les mesures prises pour réduire les émissions de sources aéroportuaires devraient être basées sur des informations provenant d'inventaires d'émissions et/ou des informations sur les concentrations. Il faut donc disposer de ces renseignements avant de planifier de telles mesures.

7.1.3 Ce chapitre ne traite pas du contenu spécifique des mesures ni de leur pertinence, mais plutôt des circonstances locales à prendre en considération lors de la conception d'un plan d'atténuation.

7.2 MÉTHODOLOGIE DE PLANIFICATION DE L'ATTÉNUATION

Cadre pour des mesures de réduction des émissions

7.2.1 Les mesures de réduction des émissions se classent généralement dans quatre catégories stratégiques différentes : réglementaires, techniques, opérationnelles et économiques, décrites plus complètement dans la section 7.3. Des exemples de chaque type de stratégie figurent dans le Tableau 7-1. Il est à noter que l'utilité de ces dispositions, lorsqu'il s'agit de les appliquer à un problème spécifique, doit être évaluée au cas par cas, et qu'il pourra se révéler qu'une combinaison de mesures est ce qu'il y a de mieux à faire. Toutes les mesures visent à réduire les émissions à la source, directement ou indirectement.

7.2.2 Le terme « mesures réglementaires » se rapporte à des exigences obligatoires énoncées dans les lois ou réglementations des autorités compétentes pour établir les normes en matière d'émissions et/ou de fonctionnement des sources d'émissions.

7.2.3 Le terme « mesures techniques » se rapporte à des modifications dans la technologie associée aux caractéristiques d'émission de certaines sources. Il peut s'agir de mesures relatives à la réduction à la source directe des émissions (p. ex. véhicule), mais aussi de mesures concernant l'infrastructure (p. ex. isolation, tracé des routes).

7.2.4 Le terme « mesures opérationnelles » se rapporte à des mesures mises en œuvre par l'opérateur du matériel en question, qu'il s'agisse de la compagnie aérienne, de l'autorité aéroportuaire, de locataires ou de toute autre entité.

Tableau 7-1. Aperçu des mesures de réduction des émissions (exemples)

Groupe de sources	Mesures			
	Réglementaires	Techniques (Infrastructure)	Opérationnelles ¹	Économiques
Aéronefs	<ul style="list-style-type: none"> Normes OACI sur les émissions des moteurs, adoptées dans la législation nationale des États. Restrictions d'utilisation de GAP. 	<ul style="list-style-type: none"> Agencement général de l'aéroport Sortie de piste à grande vitesse Voies de circulation parallèles Gestion de flux 400Hz/PCA aux postes de stationnement d'aéronefs 	<ul style="list-style-type: none"> Démarrage moteurs Amélioration de la régulation des horaires Circulation au sol sur moteur unique/puissance réduite Temps réduit de ralenti du moteur Remorquage des aéronefs Usage réduit de GAP Poussée détarée/réduite Lavage des moteurs Emploi de carburacteur alternatif Mesures ATM spécifiques à l'aéroport, dont RNAV, RNP et opérations en descente continue (CDO) 	<ul style="list-style-type: none"> Voir <i>Orientations sur les redevances liées aux émissions des moteurs d'aviation et à la qualité de l'air locale.</i> (Doc 9884)²
Assistance en escale et appui	<ul style="list-style-type: none"> Normes relatives aux émissions des véhicules motorisés pour matériel de servitude au sol (GSE) (selon le cas) 	<ul style="list-style-type: none"> GSE à carburant alternatif (GNC/LNG, GPL, électrique) Flotte de véhicules à carburant altern. (GNC/LNG, GPL, élect.) Dispositifs de réduction des émissions (pièges à PM avec filtres, etc.) Systèmes de capture des fumées de carburants 	<ul style="list-style-type: none"> Réduction des caractéristiques opérationnelles des véhicules Emploi de générateurs, GES, démarrage en vol Intensité réduite des exercices de lutte contre l'incendie à chaud. 	<ul style="list-style-type: none"> Droits de permis liés aux émissions
Infrastructure et sources stationnaires	<ul style="list-style-type: none"> Normes d'émission pour installations (p. ex. groupes électrogènes, génératrices) 	<ul style="list-style-type: none"> Centrale à faibles émissions, incinérateur (peut-être filtres) Mesures de conservation de l'énergie dans l'entretien des constructions et bâtiments nouveaux Changement d'utilisation de carburant Changement dans les hauteurs des tas et l'emplacement 	<ul style="list-style-type: none"> Procédures à faibles émissions pour opérations d'entretien (peinture, essais de moteurs, nettoyage). 	
Trafic d'accès côté ville	<ul style="list-style-type: none"> Normes relatives aux émissions des véhicules motorisés Restrictions sur le ralenti 	<ul style="list-style-type: none"> Amélioration des correspondances intermodales et des transports publics Agencement des routes Carburants alternatifs Voies publiques dédiées 	<ul style="list-style-type: none"> Enregistrement hors aéroport Stationnement préférentiel pour véhicules à carburant alternatif Files d'attente préférentielles pour taxis « verts » 	<ul style="list-style-type: none"> Incitations au co-voiturage pour le personnel Tarification du stationnement et subventions Incitations au transport public
<p>1. Certaines mesures opérationnelles citées dans ce tableau peuvent être prises à titre volontaire ou réglementaire. Les lois des différents États diffèrent en ce qui concerne le droit qu'ont les autorités, aux niveaux régional et local, d'exiger ou réglementer des pratiques opérationnelles. Dans des circonstances où une autorité a compétence juridique, elle peut imposer une pratique opérationnelle par réglementation (p. ex. restrictions d'utilisation des GAP, restrictions à la marche au ralenti des moteurs). Lorsqu'une réglementation n'est pas permise, les efforts de gestion des émissions peuvent consister en consultations informelles, ententes volontaires, etc. encourageant l'emploi de telles pratiques et déterminant l'étendue et l'effet environnemental de leur utilisation. Lorsque l'autorité aéroportuaire est le propriétaire ou l'exploitant de la source d'émissions considérée, elle est habilitée, par le mandat que la loi lui confère, à choisir et mettre en œuvre des options viables.</p> <p>2. Le présent chapitre ne traite pas des mesures basées sur le marché, telles les redevances et les taxes, en rapport avec les émissions des moteurs d'aviation qui affectent la qualité de l'air locale. Il en est question dans le Doc 9884.</p>				

7.2.5 Les mesures économiques (basées sur le marché)¹ peuvent inclure un certain nombre d'instruments différents pour incorporer les coûts externes environnementaux d'une activité. Il faut établir une distinction de base, selon les politiques de l'OACI, entre les taxes, apportant des recettes destinées à une utilisation générale par le Trésor public, et les redevances, destinées au recouvrement des coûts de fourniture d'installations et services pour l'aviation civile et appliquées à cette fin². Les mesures économiques peuvent aussi prendre la forme de subventions ou d'allocations.

Conditions requises pour une option d'atténuation

7.2.6 Lors de l'examen de l'applicabilité de différentes mesures d'atténuation, il est recommandé de procéder à une évaluation des résultats, positifs et négatifs, que pourrait avoir leur mise en œuvre. L'évaluation devrait porter sur :

- a) la faisabilité technique ;
- b) la rationalité économique ;
- c) les avantages environnementaux ;
- d) les interdépendances éventuelles.

7.2.7 **Faisabilité technique.** La technologie envisagée devrait être suffisamment disponible et robuste pour être utilisée pour les mesures à prendre. Il s'agira donc d'une technologie déjà développée et qui aura pu être appliquée quelque part. Il est prévu que cette technologie ne nécessitera pas de recherche et développement, ou n'en nécessitera que dans une mesure limitée.

7.2.8 **Rationalité économique.** Les décisions portant sur des mesures ou combinaisons de mesures devraient prendre en considération une évaluation du rapport coût-efficacité relatif des options disponibles. Les coûts afférents à la mise en œuvre des mesures choisies devraient être évalués et budgétisés et être raisonnables par rapport aux bénéfices envisagés. Si, par ailleurs, les mesures présentent un potentiel d'économies, voire de recettes additionnelles, celui-ci devrait également être évalué.

7.2.9 **Bénéfices environnementaux.** Les bénéfices de la réduction des émissions devraient être quantifiés, ou pour le moins raisonnablement estimés, pour les différentes espèces et options. Ils devraient être mis en relation avec les émissions globales de l'aéroport et avec leur contribution aux émissions dans l'aire géographique considérée, conformément à la législation ou à la réglementation locale. Si le but des mesures est de réduire ou d'éviter des dépassements des normes réglementaires sur la qualité de l'air, les bénéfices devront être évalués en fonction de ces normes. Une modélisation de la qualité de l'air, en particulier la modélisation de la dispersion des concentrations de polluants primaires (directement émis) et secondaires, pourra être nécessaire pour évaluer la réduction des dépassements attendue de différents paquets de mesures et permettre la comparaison avec les normes de qualité de l'air ambiant. Il pourra aussi être nécessaire, pour évaluer quelles sources d'émissions sont les contributeurs les plus importants à un certain dépassement, de procéder à des calculs de répartition entre les sources avec attribution spatio-temporelle utilisant un modèle de dispersion approprié.

7.2.10 **Interdépendances possibles.** Les mesures envisagées devraient être évaluées dans la perspective d'éventuels conflits avec d'autres priorités environnementales telles que la réduction du bruit, ainsi que de toutes interactions positives qui pourraient se produire.

1. La catégorie des mesures économiques n'inclut pas les amendes infligées aux contrevenants à des exigences réglementaires traditionnelles.

2. *Politique de l'OACI sur les redevances d'aéroport et de services de navigation aérienne* (Doc 9082) ; Résolution de l'Assemblée A37-18, Appendice H.

Démarche de planification

7.2.11 Il est recommandé que soit adoptée une démarche de gestion (planifier-faire-vérifier-agir) telle que celle qui est esquissée dans les paragraphes qui suivent.

7.2.12 **Identifier le problème.** Quelles sont les émissions à réduire et d'où proviennent-elles ? En se reportant à l'inventaire d'émissions, avec les différentes sources, puis en analysant les prévisions de concentration résultant d'un modèle de dispersion, on pourra élaborer un plan pour s'attaquer aux sources d'émissions appropriées.

7.2.13 **Définir les objectifs.** Quels sont les objectifs à atteindre en matière de réduction des émissions ? Il faut développer une compréhension des exigences réglementaires à respecter en matière de conformité de la qualité de l'air locale et/ou de mise en œuvre de projets.

7.2.14 **Élaborer des solutions.** Quelles sont les options disponibles pour réduire les émissions sur la base des problèmes identifiés et des objectifs déterminés ? Il faudra procéder à une évaluation approfondie de stratégies d'atténuation possibles, sur la base des exigences des options antérieures en matière d'atténuation, pour déterminer la façon la plus appropriée de progresser vers l'atteinte des objectifs.

7.2.15 **Évaluer le rapport coût-efficacité des options.** Quel est le rapport coût-efficacité relatif de la mesure, ou combinaison de mesures, envisagée ? Comment les réductions d'émissions souhaitées peuvent-elles être réalisées de la façon la plus économique ?

7.2.16 **Examen par les parties prenantes.** Ce plan est-il acceptable pour toutes les parties intéressées ? Constituer une équipe d'examen par les parties prenantes et parrainer des forums d'examen public fait partie intégrante d'un programme d'atténuation réussi.

7.2.17 **Mettre en œuvre les mesures.** Que se passe-t-il après l'acceptation du plan ? Le plan devrait comporter un aperçu clair de quand et comment les options d'atténuation seront mises en œuvre, y compris ce qui est attendu de chacune des parties prenantes, avec une série de buts pour aider à atteindre tous les objectifs et un calendrier.

7.2.18 **Surveiller/examiner le programme.** Le programme répond-il aux attentes ? Il est crucial pour le succès d'un plan d'atténuation d'établir des procédures de contrôle, y compris des indicateurs de performance pour suivre les avancées vers le résultat souhaité, vérifier succès et bénéfices, surveiller la performance en matière de coûts et aussi mettre en évidence les insuffisances inattendues. Les résultats de cet examen pourraient être utilisés ensuite pour analyser le programme et introduire dans le plan un retour d'information.

7.2.19 La conception et la mise au point de mesures sont des processus qui font intervenir un certain nombre d'acteurs, et non une seule partie. Diverses mesures devraient être évaluées et comparées avant qu'une décision quelconque ne soit prise et l'action déclenchée. Pour bien préparer la documentation, des exemples ont montré l'utilité d'une description structurée des mesures (voir le Tableau 7-2). Dans un plan d'atténuation, les mesures pourront ensuite être classées en fonction des bénéfices écologiques, des coûts ou des délais de mise en œuvre, ce qui facilitera l'établissement de priorités pour la mise en œuvre proprement dite.

7.3 OPTIONS EN MATIÈRE D'ATTÉNUATION

7.3.1 Les mesures de gestion des émissions applicables à des sources aéroportuaires peuvent être groupées en quatre grandes catégories, tandis que les sources d'émissions sont elles aussi groupées en quatre catégories principales. Le Tableau 7-1 présente une matrice avec les groupes de sources et les catégories de mesures, et donne des exemples de mesures possibles. Il est à noter que les mesures citées pourraient n'être pas toutes souhaitées, voire applicables, dans chaque cas et qu'il y a beaucoup d'autres options possibles. Il est à noter en outre que les mesures ne relèvent pas toutes de l'aéroport et qu'une coopération avec d'autres entités est nécessaire.

Tableau 7-2. Description structurée de mesures envisagées

Élément	Contenu
Situation	Expose les conditions de base ou le problème à résoudre.
Buts	Décrit la mesure envisagée et les buts prévus.
Responsabilités	Identifie le responsable de la mise en œuvre (instance de réglementation, exploitant d'aéroport, compagnie aérienne, locataire).
Interfaces/partenaires	Décrit quels autres partenaires interviennent ou doivent être pris en compte.
Respect de la législation	Décrit le fondement juridique des mesures envisagées (s'il y a lieu) ou suggère des changements qu'il faudra initier pour assurer la conformité.
Avantages environnementaux	Qualifie et quantifie les réductions des émissions ou des concentrations que les mesures permettraient de réaliser.
Coûts économiques	Quantifie les coûts afférents à la mise en œuvre de la mesure ou de la combinaison de mesures envisagée (immobilisations et coûts d'exploitation) et le rapport coût-efficacité relatif des options disponibles, en notant que les mesures pourraient aussi permettre de réaliser des économies.
Interactions	Décrit les compensations ou interactions possibles (espèces d'émissions — espèces d'émissions et émissions — bruit) et présente des options en matière d'atténuation.
Mise en œuvre	Donne des directives limitées sur la façon de mettre en œuvre les mesures.
Calendrier	Établit des calendriers ou même des délais de mise en œuvre.
Évaluation	Donne une évaluation de la mesure et une recommandation pour la mise en œuvre.

7.3.2 Les exemples donnés dans le Tableau 7-1 n'indiquent pas l'efficacité des mesures, car celle-ci variera d'un aéroport à un autre, mais ce tableau montre où elles peuvent se situer dans la structure générale.

7.3.3 C'est sur la base de considérations locales et en coopération avec les parties prenantes appropriées dans l'exploitation et l'utilisation de l'aéroport que l'on pourra le mieux sélectionner les mesures à utiliser à un certain aéroport. Les meilleures pratiques continueront d'évoluer, et les autorités aéroportuaires devraient continuer à évaluer les possibilités et à encourager les acteurs locaux et les mettre au défi de faire leur juste part pour contribuer à la réduction des émissions liées à l'aéroport.

Appendice au Chapitre 7

RÉFÉRENCES

Conseil international des aéroports (ACI), 2009, *ACI Policy and Recommended Practices Handbook*. La section 6.2 de ce manuel décrit les émissions et la qualité de l'air locale et indique des mesures qui peuvent être prises pour réduire les émissions à la source.

OACI, 2018, *Manuel de planification d'aéroport* (Doc 9184, Partie II — *Utilisation des terrains et gestion de l'environnement*). Le Chapitre 3 du Doc 9184, Partie II, recense des mesures de contrôle des émissions que les exploitants d'aéroport eux-mêmes, ou en collaboration avec les exploitants aériens, peuvent employer pour les aéronefs, les véhicules d'appui au sol et les installations aéroportuaires.

OACI, 2014, *Possibilités opérationnelles de réduire la consommation de carburant et les émissions* (Doc 10013). Le Doc 10013 documente des pratiques que tous les acteurs de l'aviation pourront envisager de mettre en œuvre pour réduire la consommation de carburant et les émissions qui en résultent. Il présente les principes des économies de carburant en répertoriant des possibilités et des techniques opérationnelles permettant de réduire la consommation de carburant et de réduire ainsi la quantité d'émissions provenant de l'aviation.

Chapitre 8

INTERACTIONS ASSOCIÉES AUX MÉTHODES D'ATTÉNUATION D'INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES

8.1 INTRODUCTION

8.1.1 Lorsqu'on analyse des méthodes d'atténuation des incidences environnementales de l'aviation, et de l'exploitation aérienne en particulier, il importe de noter qu'il peut y avoir beaucoup d'interactions entre les incidences environnementales et d'autres facteurs, tels les effets sur l'espace aérien et la capacité des pistes, l'utilisation de l'espace aérien et la manière dont il est géré aux différents aéroports.

8.1.2 Bien que le Chapitre 7 traite des options en matière d'atténuation pour plusieurs catégories de sources différentes, et qu'il existe des interactions pour d'autres sources que les aéronefs, touchant, par exemple, le bruit, le dioxyde de carbone/gaz à effet de serre, les NO_x, les particules et d'autres émissions, ces interdépendances ne seront pas discutées plus avant dans ce chapitre, axé seulement sur l'exploitation aérienne.

8.1.3 De plus, l'objet de ce document étant de donner des orientations relatives à la qualité de l'air locale aux aéroports et à leurs abords, le présent chapitre ne traite pas des interactions résultant de phases en route des vols, mais se concentre plutôt sur celles qui concernent l'exploitation aérienne à basse altitude [généralement au-dessous de 3 000 ft (914 m)] dans le « cycle de vol opérationnel CAD » dont il est question au Chapitre 2.

8.1.4 Il est à noter que le panache d'émissions d'un aéronef à une altitude égale ou supérieure à 3 000 ft n'a qu'une très faible incidence sur les concentrations de NO₂ au niveau du sol, même dans une analyse très prudente^{1,2} et que 1 000 ft est l'altitude limite type en ce qui concerne les préoccupations relatives au NO₂ au niveau du sol³.

8.1.5 Les interactions entre bruit, NO_x et combustion de carburant/émissions de CO₂, souvent complexes, peuvent être peu claires et difficiles à comprendre. Elles exigent donc que les résultats de modifications à apporter aux pratiques d'exploitation soient évalués avec soin avant que des décisions opérationnelles ou réglementaires ne soient prises. Il peut y avoir aussi des interactions entre les incidences environnementales et d'autres facteurs, tels que la capacité de l'aéroport ou de l'espace aérien, et il faudra les déterminer avant d'envisager des changements quelconques.

8.1.6 Certaines techniques d'exploitation pourraient apporter des améliorations en matière de bruit, de combustion de carburant/CO₂, de NO_x, de particules et d'autres émissions sans compromis significatifs. Il s'agirait, par exemple, de permettre des opérations en descente continue (CDO), où le bruit, les émissions locales (à l'exception possible des émissions de CO et de HC) ainsi que la combustion de carburant/les émissions de CO₂ sont tous réduits dans une plus ou moins grande mesure, bien que cela puisse avoir une incidence sur la capacité à des aéroports où le trafic est dense, en fonction de la manière dont sont gérés l'espace aérien, la séparation et d'autres facteurs. Cependant, la plupart

-
1. Roger L. Wayson, and Gregg G. Fleming, "Consideration of Air Quality Impacts by Aeroplane Operations at or above 3000 ft AGL," FAA-AEE-00-01, DTS-34, United States Department of Transportation, Federal Aviation Administration, septembre 2000.
 2. U. Janicke, E. Fleuti, and I. Fuller. "LASPORT — A Model System for Airport-related Source Systems Based on a Lagrangian Particle Model," *Proceedings of the 11th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, Cambridge, Royaume-Uni, 2007, <http://www.harmono.org/Conferences/Proceedings/Cambridge/publishedSections/Op352-356.pdf> (consulté en juin 2020).
 3. OACI, *Incidence des procédures de départ à moindre bruit des PANS-OPS sur le bruit et les émissions gazeuses* (Cir 317), Organisation de l'aviation civile internationale, 2008.

des techniques d'atténuation opérationnelles comportent des interactions et exigent des arbitrages vis-à-vis d'un ou plusieurs facteurs.

8.1.7 À mesure que les pressions réglementaires et opérationnelles pour réduire les incidences environnementales de l'exploitation aérienne s'intensifient, ces interactions ont tendance à exiger plus souvent des arbitrages et ceux-ci deviennent plus difficiles à réaliser.

8.2 RECOMMANDATIONS POUR L'ÉVALUATION DES INTERACTIONS

8.2.1 L'identification et le calcul des incidences environnementales et des interactions peuvent être à la fois complexes et obscurs. Cela exige souvent une modélisation complexe des effets, laquelle ne peut être faite qu'en liaison avec les entrées fournies par les modèles sophistiqués dont disposent avionneurs et motoristes et d'autres groupes experts en ce domaine.

8.2.2 Pour définir correctement les incidences environnementales lorsqu'interviennent des interdépendances, il faut en particulier effectuer des calculs de consommation de carburant jusqu'à un point commun le long du profil de vol. Cela est important ; autrement, on pourrait arriver à des différences ne reflétant pas vraiment le cas général.

8.2.3 S'agissant des effets sur la qualité de l'air locale, les variations mises en évidence pour les inventaires d'émissions ne correspondent pas nécessairement à des différences dans les incidences sur la qualité de l'air locale ; la position de la source (aéronefs) par rapport au récepteur est en effet déterminante, du fait de la dispersion des émissions ainsi que des conditions météorologiques ambiantes. Il en résulte qu'une réduction générale dans un inventaire d'émissions n'aboutit pas toujours à une réduction des incidences sur la qualité de l'air locale — et c'est particulièrement vrai si la réduction se produit entièrement en altitude.

8.2.4 L'analyse des interactions en matière de bruit est, elle aussi, une question complexe, différentes techniques pouvant aboutir à des différences dans l'exposition au bruit à différents points le long, ou sur les côtés, de la trajectoire de vol (parfois de signe différent). Il est à noter que pour les aéronefs à turbopropulseurs, ou d'autres aéronefs à hélices, les résultats pourraient bien être asymétriques du fait du sens de rotation des hélices, et qu'il faudra donc prendre soigneusement en considération les incidences que cela pourrait avoir lorsqu'il s'agira d'analyser les compromis pour toute technique d'atténuation.

8.2.5 Des décisions de politique peuvent être prises par des instances de réglementation ou des exploitants d'aéroport ou exploitants aériens. Il importe d'avoir conscience aussi des obligations légales et autres politiques internationales, nationales ou locales de l'environnement, pouvant elles-mêmes indiquer le facteur environnemental déterminant qu'il s'agit d'optimiser, peut-être aux dépens d'autres aspects.

8.2.6 Il est à noter que les *Procédures pour les services de navigation aérienne — Exploitation technique des aéronefs* (PANS-OPS, Doc 8168) de l'OACI spécifient que l'exploitant aérien ne devrait pas établir plus de deux procédures d'atténuation du bruit pour chaque type d'avion : l'une pour atténuer le bruit dans les zones proches de l'aérodrome et l'autre pour les zones qui en sont plus éloignées. Cette exigence peut aussi imposer une contrainte sur ce qui sera réalisable.

8.2.7 C'est essentiellement pour les raisons exposées ci-dessus qu'il importe de faire intervenir le plus tôt possible dans le processus d'évaluation tous les acteurs : exploitants aériens et exploitants d'aéroports, avionneurs et motoristes, aéroports, fournisseurs de services de navigation aérienne (ANSP), décideurs et instances de réglementation.

8.2.8 Les sections qui suivent exposent un certain nombre d'exemples d'interactions qui existent dans les opérations au sol, aux phases de départ et d'arrivée respectivement. Elles ne sont cependant pas censées être définitives ni complètes, et il ne faudrait pas les considérer comme préconisant une option particulière en matière d'atténuation. Ces

exemples sont néanmoins destinés à servir de guide pratique des types d'interactions qui existent pour certaines pratiques et ils sont à considérer comme un sous-ensemble de tous ceux qui existent dans les opérations quotidiennes réelles.

8.3 INTERACTIONS OPÉRATIONNELLES POUR MANŒUVRES AU SOL

8.3.1 Des pratiques différentes peuvent être employées pendant les manœuvres au sol, mais le fait de suivre certaines des pratiques décrites peut entraîner des interactions complexes et avoir des effets inattendus sur d'autres parties du cycle de vol. L'emploi de techniques différentes présente moins de risques de sécurité au sol que dans l'air, mais, pour des raisons de sécurité, la perte de systèmes ou les effets de dommages par corps étranger (FOD) ou du souffle des réacteurs pourraient limiter les possibilités. À certains aéroports et pour certains types d'opérations, les incidences opérationnelles non environnementales sur des temps d'escale courts ou sur la capacité pourraient être affectés davantage par des techniques différentes que par des différences dans les procédures en vol.

8.3.2 Le Tableau 8-1 présente certains exemples d'effets de techniques/procédures différentes pour les opérations au sol et de leurs incidences environnementales en matière de bruit, de carburant/CO₂ et de NO_x (QAL). D'autres espèces d'émissions, comme les particules, le CO et les HC, pourront être ajoutées ultérieurement lorsque plus de renseignements deviendront disponibles.

L'emploi de groupes auxiliaires de puissance

8.3.3 Il est normalement bénéfique de restreindre l'usage de GAP embarqués si des sources d'alimentation de remplacement sont disponibles au poste de stationnement. Pour des raisons de sécurité, cependant, certaines des options que mentionne le Tableau 8-1 exigent que le GAP alimente certains systèmes, ou leur assure la redondance requise, pour permettre la réalisation de la technique décrite. Si cette technique est suivie, cela aura inévitablement une incidence (accroissement) sur l'usage du GAP au poste de stationnement, et les incidences environnementales de certaines de ces interactions sont donc elles-mêmes reliées. Dans ce cas, il faudra analyser avec soin les avantages et les inconvénients pour l'ensemble du cycle opérationnel afin de déterminer quelle est la meilleure pratique pour réduire les incidences environnementales du cycle total. Il est à noter que cela pourrait mener à des pratiques différentes pour différents types d'aéronefs à différents aérodromes.

8.4 INTERACTIONS OPÉRATIONNELLES POUR LES DÉPARTS

8.4.1 La phase de décollage peut être complexe, avec plusieurs segments impliquant des changements de la vitesse, de la configuration de l'aéronef et du réglage de puissance du moteur. Plusieurs paramètres pourront aussi être modifiés pour modifier les incidences en matière de bruit, de consommation de carburant et d'émissions, avec des incidences sur les coûts de maintenance et l'utilisation de l'espace aérien, tout cela ajoutant encore à la complexité de cette phase.

8.4.2 Quelques exemples des effets des techniques/procédures de décollage et de montée et de leur incidence environnementale en matière de bruit, de carburant/CO₂ et de NO_x (QAL) sont donnés dans le Tableau 8-2.

Tableau 8-1. Interactions environnementales pour manœuvres au sol

Technique	Incidence environnementale en matière de :			Observations
	Bruit	Carburant/CO ₂	NO _x (QAL)	
Emploi de sources fixes d'énergie et d'air préconditionné (PCA), plutôt que de GAP	Réduction du bruit sur l'aire de trafic et du bruit au sol	Réduit	Réduits	Incidence négative possible sur temps d'escale courts, surtout si de l'air conditionné est employé.
Roulage-arrivée n'utilisant pas tous les moteurs	Potentiellement réduit, mais cela pourrait être masqué par la puissance accrue des moteurs restant en marche.	Réduit, mais sera affecté par tout besoin accru de puissance pour les moteurs en marche.	Réduits, mais seront affectés par tout besoin accru de puissance pour les moteurs en marche.	Il faudra s'occuper de plusieurs problèmes de sécurité avant que cela puisse se faire. Les besoins opérationnels peuvent signifier que le GAP devra être en fonctionnement, ce qui réduira les bénéfices, et il peut y avoir d'autres considérations d'exploitation.
Roulage-départ n'utilisant pas tous les moteurs	Potentiellement réduit, mais cela pourrait être masqué par la puissance accrue des moteurs restant en marche.	Réduit, mais sera affecté par tout besoin accru de puissance pour les moteurs en marche.	Réduits, mais seront affectés par tout besoin accru de puissance pour les moteurs en marche.	Il faut s'occuper d'un plus grand nombre de problèmes de sécurité avant que ceci puisse se faire. Les besoins opérationnels peuvent signifier que le GAP devra être en fonctionnement, ce qui réduira les bénéfices, et il peut y avoir d'autres considérations d'exploitation. Cette pratique impose aussi de plus grandes contraintes de sécurité et opérationnelles qu'il n'y en a pour le roulage-arrivée.
Remorquage des aéronefs	Réduit	Réduit	Potentiellement réduits, mais dépendent du standard technologique du remorqueur.	L'encombrement des voies de circulation peut poser un gros problème à certains aéroports. Pour certains aéronefs les exigences de résistance de la jambe de l'atterrisseur avant pourraient n'être pas remplies. Les cas de FOD seront réduits. La couverture incendie sur les aires de démarrage pourrait poser problème, et des remorqueurs spécialisés devront être disponibles pour certains aéronefs.
Attente au sol	Accru (Note)	Accru (Note)	Accrus (Note)	Il faut parfois assurer l'usage efficace de la piste quand c'est le facteur limitatif, de sorte qu'une attente réduite au sol puisse avoir une incidence sur la capacité.

Note. — Le bruit, le carburant/CO₂ et les émissions de NO_x seront accrus par rapport à l'absence d'attente, mais seront moindres que pour l'attente dans l'air — voir § 8.5.6.

L'importance d'une masse au décollage limitée par les performances (PLTOW)

8.4.3 La masse au décollage limitée par les performances (PLTOW) pour une opération donnée est la masse maximale utilisable pour les conditions existantes à un certain moment, limitée seulement par les longueurs de piste déclarées et les considérations d'exigences de montée — c'est-à-dire, en ignorant toutes contraintes limitatives qui découleraient de masses structurales certifiées, comprenant la masse au décollage maximale (MTOW) ou la masse à l'atterrissage maximale (MLW).

8.4.4 La plupart des techniques opérationnelles qui influent sur la configuration de l'aéronef au décollage ont une influence sur la PLTOW pour toute piste et toutes conditions météorologiques particulières. Des changements apportés à n'importe laquelle des caractéristiques de longueur de piste employées, p. ex. le choix d'un point de départ intermédiaire pour le décollage ou des réductions des distances déclarées du fait de travaux en cours, peuvent aussi avoir une incidence sur la PLTOW.

Tableau 8-2. Incidences environnementales de techniques de départ différentes

Technique	Incidences environnementales sur :			
	Bruit	Carburant/CO ₂	NO _x (QAL)	Observations
Accroître la puissance de décollage	Bruit réduit sous la trajectoire de vol, mais l'aire de l'empreinte pourrait être accrue	Légèrement réduit ou accru (Note 1)	NO _x augmentent avec le réglage de puissance	Incidence défavorable sur les coûts d'entretien des moteurs (Note 2).
Réduire le braquage volets au décollage	Bruit réduit si le rapport portance-trainée est amélioré — en fonction des caractéristiques de la piste et de l'aéronef	Peut être légèrement réduit	Peuvent augmenter ou diminuer (Note 3)	Implication possible dans les contacts queue-sol pour certains types et dans certaines conditions (Note 4).
Réduire l'altitude d'accélération	Bruit accru après l'altitude du point d'accélération, mais peut être réduit ensuite	Réduit	Peu ou guère de différence (Note 5)	Les différences réelles dépendent de la différence dans l'altitude d'accélération choisie par rapport à la pratique normale de la compagnie aérienne (Note 4).
Retarder l'altitude de rentrée des volets dans la montée	Bruit réduit à proximité de l'aéroport, mais accru à plus grande distance	Accru	Peu ou guère de différence (Note 5)	(Note 4)
Accroître l'altitude de réduction	Bruit accru à certaines distances à proximité de l'aéroport, mais réduit à plus grandes distances	Léger accroissement ou légère réduction en fonction du moment de rentrée des volets	Peu ou guère de différence (Note 5)	(Note 4)
Séquence du segment montée en accélération (réduire la puissance, rentrer les volets puis accélérer)	Bruit réduit sous la trajectoire après le point d'accélération normal	Accru	Peu ou guère de différence (Note 5)	Un aéronef volant en configuration de trainée élevée à bas réglage de puissance pourrait préoccuper les instances de réglementation en matière de sécurité (Note 4).
Augmenter les vitesses V (vitesses VR, V2 et de montée)	Bruit légèrement accru à proximité de l'aéroport, mais réduit plus loin	Guère de différence — Légèrement accru	Peuvent augmenter ou diminuer (Note 3)	Pas applicable à certains types d'aéronefs et certains exploitants, ceci dépendant des techniques de décollage standard. Dépend aussi des limitations de performance au décollage (Note 4).
Accroître les réglages de puissance en montée	Bruit accru après réduction à proximité de l'aéroport, mais réduit à plus grande distance	Guère de différence — Légèrement réduit	Guère ou pas de différence (Note 5)	Incidence défavorable sur les coûts d'entretien des moteurs (Note 4).
Systèmes innovants de gestion de puissance (p. ex. « bruit géré » du FMS)	Réduit à certains points identifiés comme sensibles au bruit	Dépend de la procédure, de l'aéronef, du récepteur du bruit et des caractéristiques d'aéroport	Guère ou pas de différence (Note 5)	Actuellement faisable seulement avec FMS nouvelle génération dans des types d'aéronefs nouveaux, tels les A380, B787, A350.
Routes préférentielles à moindre bruit (NPR)	Incidence réduite sur les populations riveraines de l'aéroport	Normalement accru du fait des km de route parcourus et des besoins de virages à basse altitude	Petite augmentation en fonction de la conception des NPR (Note 5)	Les NPR sont conçues pour éviter les zones à forte densité de population, pour que la population affectée par le bruit soit moindre, mais le bruit total émis pourrait être supérieur.
Utilisation de piste préférentielle à moindre bruit	Incidence réduite sur les populations riveraines de l'aéroport	Augmentation ou diminution selon la conception de chaque aéroport et les circonstances locales	Augmentation ou diminution selon la conception de chaque aéroport et les circonstances locales	L'usage de pistes préférentielles à moindre bruit est destiné à éviter les zones à forte densité de population, pour que la population affectée par le bruit soit moindre. Toutefois, le bruit total émis pourrait être accru.

Notes.—

1. Bien que le débit carburant soit plus grand à de plus hauts réglages de puissance, le moment de la réduction de ce réglage entraînera de légères différences qui pourront être positives ou négatives et ne seront pas les mêmes pour toutes les émissions.
2. La législation actuelle exclut l'application de procédures de départ à bruit réduit (NADP) au-dessous de 800 ft AAL (OACI 2006).
3. La PLTOW (voir § 8.4.3 à 8.4.7) sera affectée, influençant à son tour le réglage de poussée au décollage et la production d'émissions de NO_x.
4. Cela aura une incidence sur la trajectoire et les vitesses de vol, de sorte que l'ATC devra connaître les incidences de ces procédures pour assurer une gestion du vol sûre et efficace. Peut aussi avoir une incidence sur le respect de NPR exigeant des virages à basse altitude.
5. Des différences dans les émissions au-dessus de 1 000 ft AGL n'auront guère d'incidence sur des modifications des concentrations au niveau du sol.

8.4.5 La PLTOW est un important paramètre lorsqu'il s'agit d'évaluer l'incidence d'émissions de NO_x parce que la différence entre la masse au décollage réelle de l'aéronef et la PLTOW détermine dans une grande mesure la réduction de poussée maximale utilisable au décollage. Cela est dû dans une grande mesure à la relation entre les émissions de NO_x et la puissance de décollage réelle utilisée, ce qui influe sur la quantité de NO_x émise (les augmentations de puissance peuvent avoir pour résultat une production nettement accrue de NO_x). Il est à noter, cependant, que la même chose n'est pas nécessairement vraie pour le cas des émissions de CO et de HC, où de moindres puissances peuvent avoir un effet légèrement négatif.

8.4.6 Par ailleurs, bien que les incidences du bruit soient complexes, et que des augmentations de puissance augmentent les niveaux de bruit pour la circulation au sol et à proximité de l'aéroport, une fois en vol les effets d'une distance accrue au-dessus de la piste du fait du gradient de montée accru compenseront normalement tous accroissements du bruit à la source, et les niveaux de bruit sous la trajectoire de vol seront généralement réduits. Les effets sur les aires d'empreintes de bruit pourront cependant être accrus, les caractéristiques d'atténuation latérale d'une source de bruit ascendante étant moins influencées par la proximité du sol⁴.

8.4.7 Les effets sur la consommation de carburant et les émissions de dioxyde de carbone seront légers et ils pourraient être positifs ou négatifs en fonction des circonstances particulières et du type d'aéronef considéré. Ils devront donc être évalués pour chaque cas particulier.

8.5 INTERACTIONS OPÉRATIONNELLES POUR LES ARRIVÉES

8.5.1 Contrairement aux techniques de départ, les techniques d'arrivée n'impliquent guère ou pas de compromis entre différentes incidences environnementales. Il pourrait bien toutefois y avoir des incidences sur d'autres paramètres non liés à l'environnement, spécialement si l'on considère la manière dont l'espace aérien est géré. De plus, ces techniques peuvent exiger l'installation de certains matériels ou de certaines aides à la navigation pour faciliter la trajectoire de descente et d'approche, ou encore être soumises à une politique de réglementation particulière qui pourrait en ralentir l'adoption.

8.5.2 On trouvera dans le Tableau 8-3 quelques exemples des effets de différentes techniques/procédures d'arrivée et de leurs incidences environnementales en matière de bruit, de carburant/CO₂ et de NO_x (QAL).

4. OACI, *Méthode recommandée pour le calcul des courbes de niveau de bruit au voisinage des aéroports* (Doc 9911), 2018.

Tableau 8-3. Incidences environnementales de techniques d'approche différentes

Technique	Incidences environnementales sur :			Observations
	Bruit	Carburant/CO ₂	NO _x (QAL)	
Opérations en descente continue (CDO) ⁵	Réductions avant de parvenir au radioalignement de descente ILS	Réduit	Peu ou pas de différence (Note 1)	Il faut d'abord convenir de procédures et les établir. Le plus grand bénéfice sera obtenu en commençant à plus hautes altitudes avec un équipement de navigation plus avancé. Peut avoir une incidence sur la capacité (Note 2).
Arrivées « sur mesure »	Réductions avant de parvenir au radioalignement de descente ILS	Réduit	Peu ou pas de différence (Note 1)	Similaire aux CDO, mais faites « sur mesure » pour un certain vol par intégration de toutes les données connues sur la performance de l'aéronef, le trafic aérien, l'espace aérien, les conditions météorologiques, le franchissement des obstacles et les contraintes environnementales qu'il est prévu de rencontrer à l'arrivée.
Faible puissance/faible traînée (LP/LD)	Réductions plus près du seuil de piste	Réduit (Note 3)	Légère réduction (Note 3)	Les critères OACI d'approche stabilisée peuvent agir comme contrainte pour certains types et à certains aérodromes. Peut avoir une incidence sur les débits avec des exigences différentes de vitesse de l'aéronef (Note 2, Note 4).
Approche courbe	Incidence réduite sur les populations riveraines de l'aéroport, mais le bruit total émis pourrait être accru	Pourrait être accru en fonction de la différence en kilomètres parcourus	Peu ou pas de différence (Note 1)	Il faut d'abord s'entendre sur des procédures et les établir. Un équipement de navigation plus avancé pourrait être nécessaire pour aider au contrôle de la trajectoire de vol (Note 4).
Point de toucher des roues déplacé	Réduit — réductions plus grandes en se rapprochant de la limite du périmètre aéroportuaire	Pas de différence (Note 3)	Réductions pour zones affectées à l'extérieur de l'aéroport (Note 3)	Les applications pourront aussi être limitées par les caractéristiques de portance de charge des pistes locales (Note 2, Note 4).

Notes.—

1. Des différences dans les émissions au-dessus de 1 000 ft AGL n'influencent guère sur des modifications des concentrations au niveau du sol.
2. Des considérations de sécurité peuvent exclure des réductions des réglages de volets si la piste est courte, mouillée ou polluée.
3. Une application accrue de l'inversion de poussée comme résultat de cette technique pourrait compromettre les améliorations qui en résulteraient.
4. Pourrait exiger des aéronefs spécialement modifiés et des modifications de l'équipement au sol, ou exiger du matériel au sol supplémentaire.

Considérations relatives à l'inversion de poussée

8.5.3 Une inversion de poussée n'est généralement pas nécessaire pour les opérations normales vers une piste sèche, mais il est bon qu'elle soit disponible comme précaution de sécurité. À l'atterrissage, le ralenti en inversion de poussée sera donc presque universellement choisi lorsque des considérations de performance ou autres (p. ex. état de la surface de piste) n'imposent pas la nécessité de réglages de poussée inverse plus élevés. Certaines techniques d'arrivée peuvent aboutir à un besoin opérationnel accru d'inversion de poussée, notamment celle qui consiste à accroître la capacité des pistes en réduisant leur temps d'occupation.

5. EUROCONTROL, *Continuous Descent Approach — Implementation Guidance Information*, EUROCONTROL, mai 2008.

8.5.4 Il est normalement possible d'employer un freinage sur roues accru au lieu de l'inversion de poussée, ce qui aura pour résultat une réduction du bruit et des émissions des moteurs (bien que les émissions de PM puissent augmenter) et des coûts réduits de consommation de carburant. Il faut cependant prendre en considération les coûts afférents à l'usure accrue des freins et des pneus qu'implique cette technique⁶. De plus, bien que cela ne relève pas de ce document, l'usure des freins et des pneus peut créer des concentrations locales significatives de particules (comparées à celles que produisent les moteurs d'aéronefs), et il convient d'en tenir compte dans l'analyse des incidences de l'exploitation aérienne sur la qualité de l'air locale lorsqu'une utilisation accrue du freinage sur roues est proposée.

Note concernant les attentes

8.5.5 Une attente à l'aéroport peut être nécessaire pour diverses raisons, par exemple pour assurer une utilisation efficace de la piste lorsque celle-ci est le facteur limitatif de la capacité. En ce cas, une attente dans l'air est nécessaire pour constituer une « réserve » d'aéronefs qui alimenteront le flux d'arrivées, et l'attente au sol assure que les départs au départ à partir de la piste seront toujours maximisés.

8.5.6 Lorsqu'il s'agit d'une piste unique, ou d'opérations en mode mixte, il peut y avoir conflit entre les aéronefs en attente de décollage et ceux qui, dans l'air, sont en attente d'atterrissage, spécialement aux heures les plus actives de la journée ou lorsqu'un aéroport opère à sa capacité, ou presque. Dans ce cas, bien qu'il soit toujours avantageux de réduire le plus possible les temps d'attente, il y a d'évidents compromis à faire si une attente est inévitable :

- a) L'attente au sol réduit le bruit en attente et les émissions de carburant/CO₂, raison pour laquelle il est toujours nettement préférable de faire attendre les départs au sol et d'autoriser les aéronefs en attente à l'arrivée. Il en résultera cependant des incidences accrues sur la qualité de l'air locale.
- b) L'attente en vol n'est pas réellement pertinente en ce qui concerne la qualité de l'air au niveau du sol car elle a lieu à des niveaux bien supérieurs à 1 000 ft, où les incidences sur la qualité de l'air locale seront minimales, s'il y en a, mais les incidences sur le bruit en attente et les émissions de carburant/CO₂ seront grandement accrues.

8.6 EXEMPLES CONCRETS — CIRCULAIRE 317 DE L'OACI

8.6.1 Cette section donne quelques exemples provenant d'analyses effectuées par des membres du WG2 du groupe CAEP de l'OACI, en employant plusieurs types différents d'aéronefs pour un aéroport non spécifique, exempt de contraintes. Les changements ont été évalués pour :

- a) les émissions de NO_x à 1 000 ft et à 3 000 ft ;
- b) le CO₂ total (et donc la consommation de carburant) jusqu'à un point commun après le sommet de la montée [il est à noter que la consommation de carburant jusqu'à 3 000 ft varie avec le type et la distance du secteur, mais qu'elle varie entre environ 2,5 % (pour de très longs vols) et environ 25 % (pour des vols très courts) de la consommation totale de carburant pour le secteur] ;
- c) la différence de bruit maximum à proximité et la différence de bruit maximum à distance, avec le point de croisement (distance à partir du lâcher des freins) auquel la différence entre les profils de bruit change de signe ;
- d) le nombre de procédures pour huit types d'aéronefs différents.

6. OACI, *Possibilités opérationnelles de réduire la consommation de carburant et les émissions* (Doc 10013), 2014.

8.6.2 Ces renseignements, destinés seulement à servir de guide pour les types d'interactions qui peuvent être rencontrées dans les opérations réelles, ne sont pas à considérer comme étant représentatifs pour tous les aéronefs, fussent-ils d'un même type, à tous les aéroports.

8.6.3 Des renseignements détaillés sur les résultats de cette étude sont publiés dans la Circulaire 317, mais des résumés des interactions environnementales pour trois techniques sont donnés ici pour illustrer les types de compromis qui peuvent être nécessaires.

8.6.4 Les Figures 8-1 à 8-6 montrent les incidences de trois modifications opérationnelles sur huit types d'aéronefs. Le numéro ID de l'aéronef utilisé dans les figures est celui qui est donné dans le Tableau 8-4.

Effet de la hauteur de réduction

8.6.5 On voit l'effet de la hauteur de réduction dans les résultats de l'analyse comparative d'une réduction de la puissance de décollage jusqu'à la poussée maximale de montée (MCLT) à 1500 ft et d'une réduction amorcée à 800 ft.

8.6.6 Les résultats montrent que les émissions de NO_x à basse altitude sont généralement accrues, tandis que la consommation de carburant et les émissions de CO₂ sont légèrement réduites. Le bruit à proximité est également accru, tandis que le bruit à distance est réduit à un moindre niveau après un point de croisement relativement proche de l'aéroport. Voir Figures 8-1 et 8-2.

Effet d'une succession de réductions

8.6.7 Les effets de différentes successions de réductions sont illustrés sur les Figures 8-3 et 8-4, où la procédure de base consiste à amorcer l'accélération et la rentrée des volets à 800 ft, ce qui sera suivi d'une réduction à la MCLT après la rentrée des volets. L'autre procédure comporte une réduction à la MCLT à 800 ft avant d'amorcer l'accélération et la rentrée des volets.

8.6.8 Les résultats montrent que, en général, les émissions de NO_x sont réduites, avec un léger accroissement des émissions de CO₂ (moins de 1 %). Le bruit à proximité est réduit tandis que le bruit à distance est accru après un point de croisement qui est, à nouveau, relativement proche de l'aéroport.

Hauteur de rentrée des volets

8.6.9 Les Figures 8-5 et 8-6 montrent l'effet de la hauteur de rentrée des volets, lorsque la procédure de base comporte la réduction à la MCLT à 800 ft, tandis que l'accélération et la rentrée des volets sont retardées jusqu'à 3 000 ft. L'autre procédure consiste à réduire à la MCLT et amorcer l'accélération et la rentrée des volets à 800 ft.

8.6.10 Les résultats montrent que, en général, les émissions de NO_x sont sensiblement accrues, tandis que les émissions de CO₂ sont légèrement réduites. Le bruit à proximité est accru, tandis que le bruit à distance est réduit, après un point de croisement relativement plus éloigné de l'aéroport.

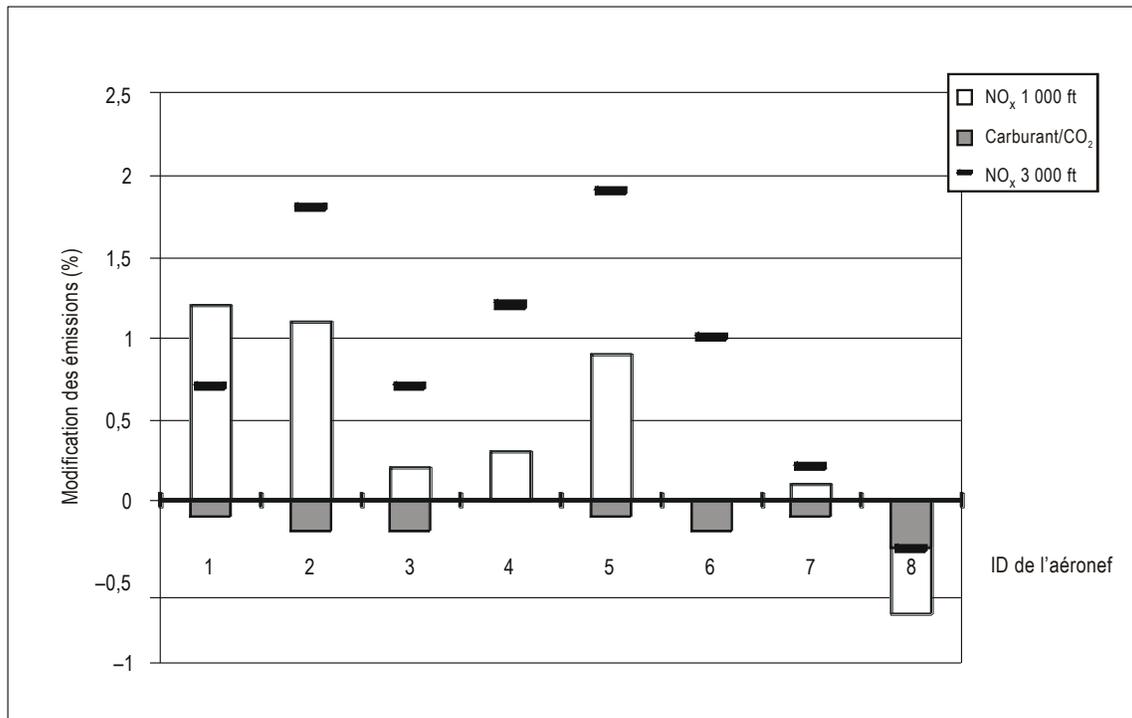


Figure 8-1. Incidences en matière d'émissions de différentes hauteurs de réduction

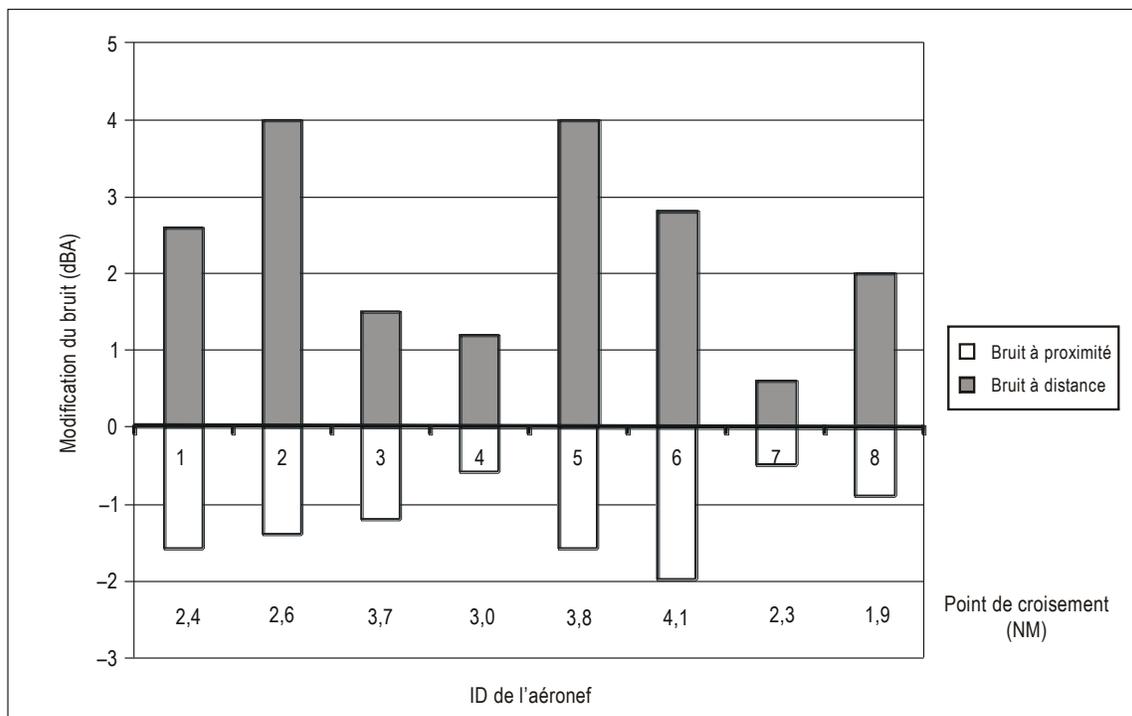


Figure 8-2. Incidences en matière de bruit de différentes hauteurs de réduction

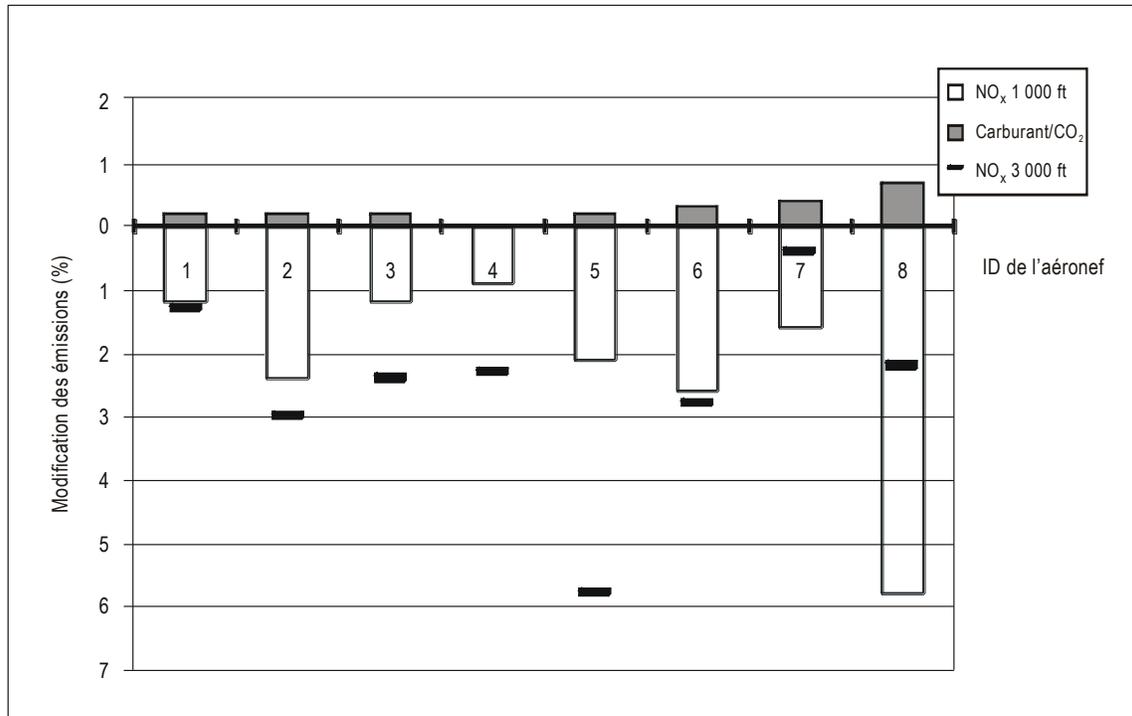


Figure 8-3. Incidences en matière d'émissions de différentes successions de réductions

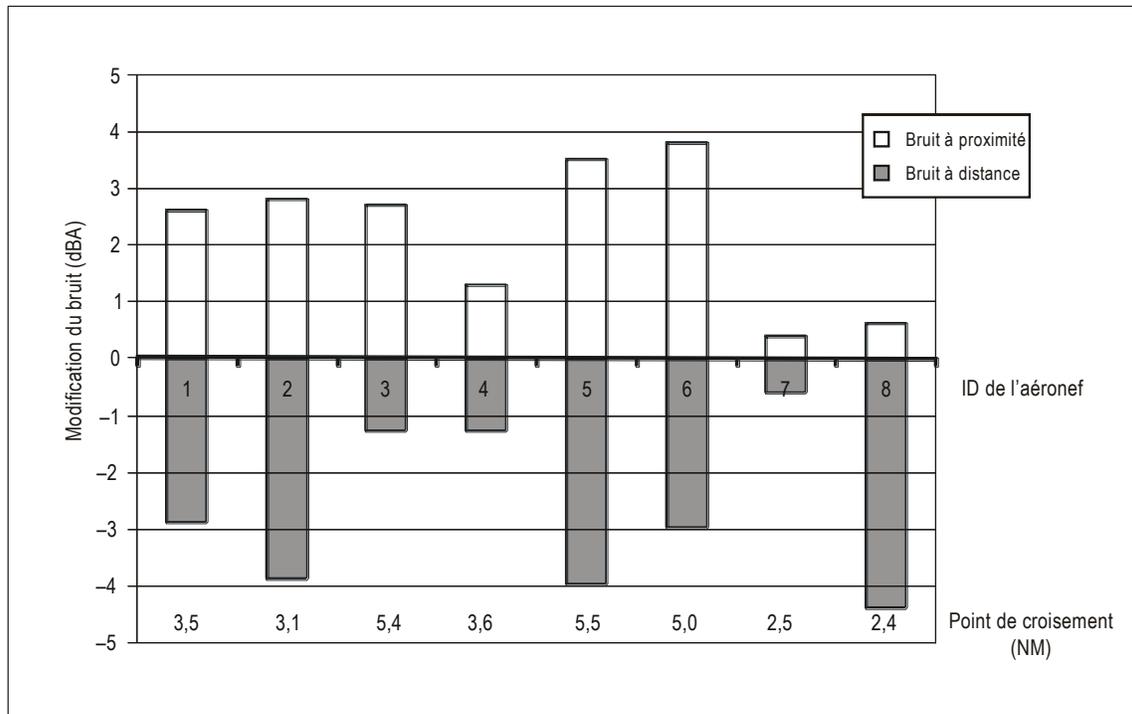


Figure 8-4. Incidences en matière de bruit de différentes successions de réductions

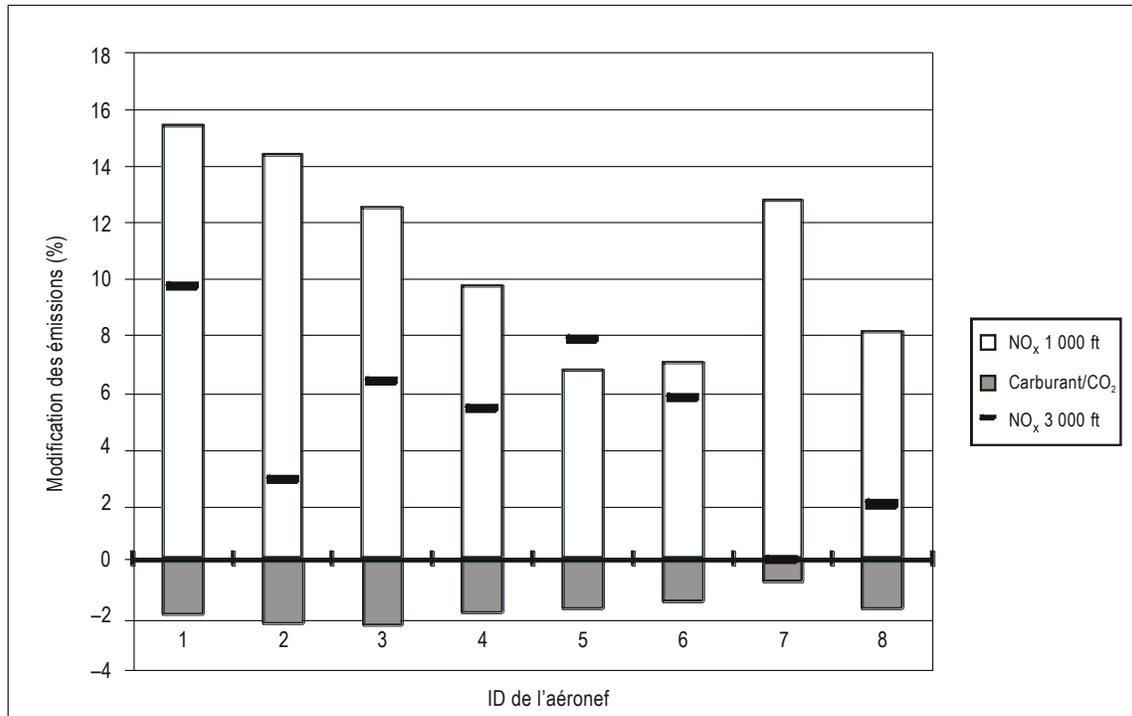


Figure 8-5. Incidences en matière d'émissions de différentes hauteurs de rentrée des volets

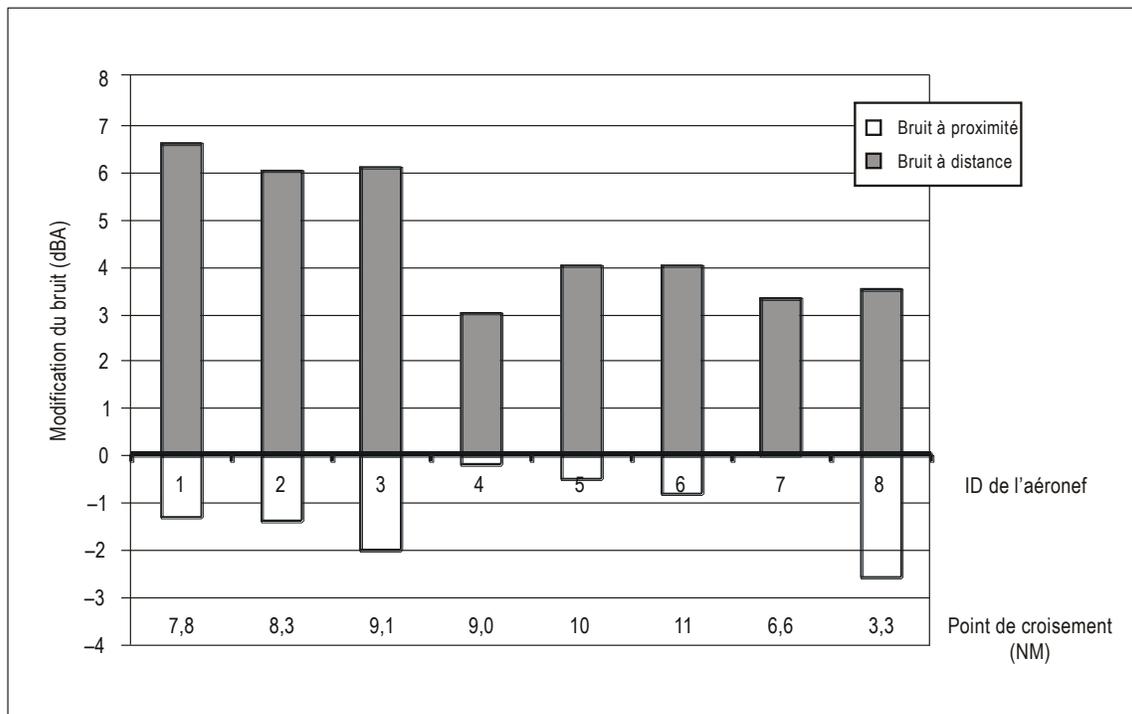


Figure 8-6. Incidences en matière de bruit de différentes hauteurs de rentrée des volets

**Tableau 8-4. Types d'aéronefs utilisés dans l'étude faisant l'objet de la Circulaire 317
(ID se rapporte au numéro d'ID d'aéronef utilisé dans les Figures 8-1 à 8-6)**

ID	Type d'aéronef
1.	Airbus A320-214, CFM56-5B4/P Masse au décollage 77 000 kg poussée au décollage réduite de 12 %
2.	Boeing 737-700, CFM56-7B24 Masse au décollage 70 000 kg poussée au décollage réduite de 10 %
3.	Airbus A330-223, PW4168A Masse au décollage 233 000 kg Poussée au décollage réduite de 12 %
4.	Airbus A340-642, Trent 556 Masse au décollage 368 000 kg Poussée au décollage réduite de 12 %
5.	Boeing 767-400, CF6-80C2B8F Masse au décollage 204 000 kg Poussée au décollage réduite de 10 %
6.	Boeing 777-300, Trent 892 Masse au décollage 300 000 kg Poussée au décollage réduite de 10 %
7.	Bombardier CRJ900ER, CF4-8C5 Masse au décollage 37 000 kg Poussée au décollage réduite de 10 %
8.	Dassault Falcon 2000EX, PW308C Masse au décollage 19 000 kg Pleine poussée au décollage

RÉFÉRENCES

Agence européenne pour l'environnement, *TERM Report 2003 for EU Countries and Accessing Countries*, 2003.

BACK Aviation Solutions (BACK), *Aviation Link: User's Guide*, édition du 16 juin 2005.

Baughcum, S.L. et al., *Scheduled Civil Aircraft Emissions Inventories for 1976 and 1984: Database Development and Analysis*, NASA CR 4700, avril 1996.

CEAC, Sous-groupe technique AIRMOD, *Methodology for Computing Noise Contours Around Civil Airports*, janvier 2006.

Commission économique des Nations Unies pour l'Europe, *Annual Bulletin of Transport Statistics for Europe and North America*, 2004.

Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique, *New developments in emission estimation from transport*, Report from the Joint Dissemination Conference COST346 – ARTEMIS — PARTICULATES, 2004.

Department for Transport (Royaume-Uni), *Project for the Sustainable Development of Heathrow: Air Quality Technical Report*, 19 juillet 2006.

Directive 2004/26/EC du Parlement européen et du Conseil du 21 avril 2004 modifiant la directive 97/68/CE sur le rapprochement des législations des États membres relatives aux mesures contre les émissions de gaz et de particules polluants provenant des moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers, Journal officiel de l'Union européenne, L146, 2004, Bruxelles.

EMEP/EEA *air pollutant emission inventory guidebook 2013*. Technical report No 12/2013; August 2013, <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013> (consulté en juin 2020).

Energy and Environmental Analysis, Inc., *Air Pollution Mitigation Measures for Airports and Associated Activity*, Arlington, VA, Emission Factors for GSE Engines (in grams per BHP-hr), mai 1994.

EUROCONTROL, <http://www.eurocontrol.int> (consulté en juin 2020).

EUROCONTROL Experimental Centre (EEC), *User Manual for the Base of Aircraft Data (BADA)*, Revision 3.6, EEC Note No. 10/04, Project ACE-C-E2, 2004.

Federal Aviation Administration, Office of Aviation Policy and Plans, *Official Airline Guide*, www.faa.gov (consulté en juin 2020).

Federal Aviation Administration, Office of Aviation Policy and Plans, *Terminal Area Forecast (TAF)*, <https://aspm.faa.gov/main/taf.asp> (consulté en juin 2020).

Federal Aviation Administration, Office of Environment and Energy, *Aviation Emissions and Air Quality Handbook*, Version 3, Update 1, FAA-AEE-2014-12, 2015, http://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/airquality_handbook/media/Air_Quality_Handbook_Appendices.pdf (consulté en juin 2020).

Federal Aviation Administration, Office of Environment and Energy, *Emissions and Dispersion Modeling System (EDMS) User's Manual*, FAA-AEE-07-01 (Rev. 10 – 06/07/13), June 2013, http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/models/edms_model/media/EDMS_5.1.4_User_Manual.pdf (consulté en juin 2020).

Federal Aviation Administration, Olmstead, Jeffery R., *Integrated Noise Model (INM) Technical Manual, Version 6.0*. January 2002 FAA-AEE-08-01, https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/ (consulté en juin 2020).

Federal Register, Vol. 38, No 136, Part II, "Control of Air Pollution from Aircraft and Aircraft Engines; Emission Standards and Test Procedures for Aircraft — Final Rule," 17 juillet 1973, pp. 19088–19103.

Flughafen Zürich AG, *Aircraft Ground Handling Emissions: Methodology and Emission Factors Zurich Airport*, April 2014, https://www.zurich-airport.com/~media/flughafenzh/dokumente/das_unternehmen/laerm_politik_und_umwelt/luft/2014_gse_emissionmeth_zrh.pdf (consulté en juin 2020).

Forecasting and Economic Analysis Support Group, *Steering Group Meeting Report of the FESG/CAEP6 Traffic and Fleet Forecast*, FESG CAEP-SG20031-IP/8, octobre 2003.

Grandi, F., *The MAGENTA Modelling System-Software and Data Structures-Data Management Software Utilities*, Wyle Laboratories, Washington, D.C., 2005.

INFRAS: *Handbook Emission Factors for Road Transport, Version 2.1*, Berne, 2004, www.hbefa.net (consulté en juin 2020).

Janicke Consulting, "LASPORT, A program system for the calculation of airport-induced pollutant emissions and concentrations in the atmosphere", <http://www.janicke.de/en/lasport.html> (consulté en juin 2020).

JP Airline Fleets, *JP Fleets International, Aviation Database*, BUCHair U.K. Ltd., décembre 2004.

Lecht, D.L., *The DLR Fuel Flow Method and its Characteristics Compared to Other NO_x Correlation Methods*, 2005.

Logiciel IMPACT — Guide Utilisateur, ADEME Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, 1997.

MEET Project, *Project Report SE/491/98, Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy Consumption*, Transport Research Laboratory, 1999.

MEET Project, *Road Traffic Composition*, Aristotle University of Technology, 1998.

Society of Automotive Engineers, Aerospace Information Report 1845, *Procedure for the Calculation of Aeroplane Noise in the Vicinity of Airports*, Warrandale, PA, mars 1986.

United States Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, *Airline On-Time Performance Data*, 2005.

United States Environmental Protection Agency, *Modeling and Inventories, NONROAD*, <http://www.epa.gov/otag/nonrdmdl.htm> (consulté en juin 2020).

United States Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, *Fugitive Dust Background Document and Technical Information Document for Best Available Control Measures*, 1992.

United States Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Median Life, *Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modelling*; 2004.

United States Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, *Nonroad Engine and Vehicle Emission Study — Report*, 1991.

United States Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, *User's Guide for the Nonroad Emissions Model Draft NONROAD 2002*, 2002.

United States Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources (AP-42)*, Fifth Edition and Supplements, 1995 (avec Suppléments jusqu'à 2004).

United States Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, *Procedures for Emission Inventory Preparation*, Volume IV: Mobile Sources, 1992.

United States Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, *User's Guide to Tanks, Storage Tank Emissions Calculation Software*, Version 4.0, 1999.

United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Final Report — *Evaluation of Emissions from Paving Asphalts*, 1994.

United States Environmental Protection Agency, *Spatial Allocation*.

United States Environmental Protection Agency, *Technical Support for Development of Airport Ground Support Equipment Emission Reductions*, EPA420-R-99-007, mai 1999.

United States Environmental Protection Agency, Technology Transfer Network, *Factor Information Retrieval Data System*, <http://cfpub.epa.gov/oarweb/index.cfm?action=fire.main> (consulté en juin 2020).

United States Environmental Protection Agency, *Temporal Allocation*.

United States Environmental Protection Agency, Wilcox, R.S., United States EPA, Letter to J. Draper, FAA, 22 novembre 2000.

Xie, S. et al., "On-Road Remote Sensing of Vehicle Exhaust Emissions in Auckland New Zealand," *Clean Air and Environmental Quality*, Volume 39, n° 4, novembre 2005.

ISBN 978-92-9265-283-8



9

789292

652838